

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL: FITOTECNIA

TESIS DOCTORAL

**ESTUDIO DE MECANISMOS DE ADAPTACIÓN
ECOFISIOLÓGICA DE LA VID
(*Vitis vinifera* L., cv. Tempranillo) AL DÉFICIT HÍDRICO.
EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA Y DE LAS
RESPUESTAS AGRONÓMICAS EN DIFERENTES
REGÍMENES HÍDRICOS**

ENCARNACIÓN CUEVAS GARCÍA
INGENIERO AGRÓNOMO
MADRID, JULIO 2001

Don José Ramón Lissarrague García-Gutiérrez, Doctor Ingeniero Agrónomo por la Universidad Politécnica de Madrid y Profesor Titular de Universidad del Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia de la Universidad Politécnica de Madrid,

CERTIFICA:

Que la Tesis Doctoral que lleva por título "Estudio de mecanismos de adaptación ecofisiológica al déficit hídrico de la vid (*Vitis vinifera* L., cv. Tempranillo). Evaluación del consumo de agua y de las respuestas agronómicas en diferentes regímenes hídricos" presentada por la Ingeniero Agrónomo D^a Encarnación Cuevas García, ha sido realizada íntegramente bajo mi dirección, en el Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid.

Considerando que se trata de un trabajo original de investigación, que reúne todos los requisitos establecidos en el RD 778/1998, de 30 de abril, Autorizo su presentación y defensa pública.

Lo que firmo en Madrid, a 11 de julio de dos mil uno, para que conste a los efectos oportunos



Fdo.: José Ramón Lissarrague García-Gutiérrez

La presente Tesis Doctoral se ha realizado en el Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia de la E.T.S.I. Agrónomos de Madrid, dentro del Proyecto de Investigación “Evaluación de las necesidades hídricas del viñedo y determinación de coeficientes de consumo por manejo de los riegos deficitarios en viñedo”, financiado por la U.P.M., bajo la dirección de D. José Ramón Lissarrague

Quiero expresar mi agradecimiento a las siguientes personas, sin cuya ayuda hubiera sido imposible la elaboración de esta Tesis:

- A D. José Ramón Lissarrague, director de esta tesis, por su ayuda inestimable y disponibilidad en todas las fases del desarrollo de este trabajo, así como por haberme facilitado todos los medios a su alcance tanto para su consecución como para mi formación.
- A Pilar Baeza, por su ayuda y colaboración en todo momento desde las tomas de datos hasta su elaboración.
- A Constantino Ruíz, Paula Sánchez, Lorenzo Bescansa, Dirk Niedecken, Mónica García Mascaraque, Paloma García Moreno y Joaquín Huete, por su ayuda permanente y meticulosa tanto en el mantenimiento de los viñedos como en las tomas de datos, con independencia de la carga de trabajo y las altas temperaturas.
- Al Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia, por poner a mi disposición todos los medios posibles.

A mis padres

A Valentin

LISTA DE ABREVIATURAS

cv.	Cultivar
Fig./s	Figura/s
Ec.	Ecuación
Sig.	Significación estadística
T1	Tratamiento 1
T2	Tratamiento 2
T3	Tratamiento 3
T4	Tratamiento 4
hs	Hora solar
Dd1enero	Días desde el 1 de enero
DB	Desborre
FL	Floración
EN	Envero
1/2 MD	Mitad del periodo de Maduración
VD	Vendimia
“canopy”	Término del inglés para designar el sistema de hojas y pámpanos de la vid (Shaulis y Smart, 1974)
P	Pámpano principal
N	Pámpano anticipado o nieto
LAI	Índice de área foliar (“leaf area index”) ($\text{m}^2 \text{ hojas} \cdot \text{m}^{-2} \text{ suelo}$)
LAI _p	Índice de área foliar de principales
LAI _N	Índice de área foliar de anticipados
SA	Superficie foliar externa (“surface area”) ($\text{m}^2 \text{ hojas} \cdot \text{m}^{-2} \text{ suelo}$)
GDD	Integral térmica eficaz (“growing degree days”)
Pe	Precipitación efectiva (mm)
Epan	Evaporación de cubeta clase A
ET _o	Evapotranspiración de referencia
ET _c	Evapotranspiración potencial del viñedo
K _c	Coefficiente de cultivo (Doorembos y Pruitt, 1977)
ET	Evapotranspiración real del viñedo
K _{viñ}	Coefficiente de consumo real del viñedo (ET/ET _o)
R	Dosis semanal de agua de riego (mm/semana)
D	Drenaje
TDR	“Time domain reflectometry”
θ_v	Contenido volumétrico de agua en el suelo (%v/v)
θ_g	Contenido gravimétrico de agua en el suelo (%p/p)
da	Densidad aparente ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)
eg	Proporción de elementos gruesos en una muestra de suelo (tanto por 1 en peso)
Prof.1	Profundidad 1 (0-20cm)
Prof.2	Profundidad 2 (20-40 cm)
Prof.3	Profundidad 3 (40-70 cm)
Prof.4	Profundidad 4 (70-110 cm)
A	Tasa de asimilación neta de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
A _{máx}	Tasa máxima diaria de asimilación neta de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
E	Tasa de transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
g _s	Conductancia estomática al vapor de agua ($\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
t ^a	Temperatura
DPV	Déficit de presión de vapor entre el mesofilo de la hoja y la atmósfera (mb)
$\Psi_{a.a.}$	Potencial hídrico foliar antes del amanecer o de base
Ψ_f	Potencial hídrico foliar
Ψ_t	Potencial hídrico del tallo
Ψ_m	Potencial matricial del suelo

ABA	Ácido abscísico
PAR	Radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
prod	Rendimiento en uva ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ó $\text{kg} \cdot \text{cepa}^{-1}$)
pmp	Peso de madera de poda ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ó $\text{g} \cdot \text{cepa}^{-1}$)
pp.	Páginas
Ed./eds.	Editor/es
G.E.S.CO	Grupo Europeo de Estudio de los Sistemas de Conducción del viñedo
O.I.V.	“Office International de la Vigne et du Vin”

CAPITULO I. ANTECEDENTES	1
1. RESPUESTAS DE LA VID AL DÉFICIT HÍDRICO	1
1.1 EFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO DEL SUELO SOBRE EL DESARROLLO VEGETATIVO.....	1
1.2 EFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO DEL SUELO SOBRE EL DESARROLLO REPRODUCTIVO.....	3
1.3 EFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO DEL SUELO EN EL INTERCAMBIO DE GASES Y ESTADO HÍDRICO DE LA PLANTA	4
1.4 EFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO DEL SUELO EN LA COMPOSICIÓN DE LA FRUTA.....	9
2. RESPUESTAS DE LA VID A UNA ALTA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL SUELO.....	10
3. MONITORIZACIÓN DEL RIEGO. INDICADORES DE ESTRÉS HÍDRICO	11
3.1 MEDICIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES: ESTIMACIÓN DE LA RESERVA DE AGUA EN EL SUELO	11
3.2 CONTROL DE LA HUMEDAD DEL SUELO.....	12
3.3 INDICADORES DE LA PLANTA.....	15
4. CONSUMO DE AGUA DEL VIÑEDO	19
4.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CONSUMO	19
4.2 ESTACIONALIDAD DEL CONSUMO.....	21
4.3 EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO.....	22
4.4 ESTIMACIONES DEL CONSUMO DE AGUA DE LA VID	24
CAPITULO II. MATERIAL Y METODOS.....	26
1. CARACTERIZACIÓN DEL ENSAYO.....	27
1.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.....	28
1.2 CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS.....	31
1.3 CARACTERÍSTICAS FENOLÓGICAS.....	34
2. PROTOCOLO EXPERIMENTAL	35
2.1 TRATAMIENTOS EXPERIMENTALES	35
2.2 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	39
2.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	40
3. CARACTERIZACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE LA PLANTA	41
3.1 SUPERFICIE FOLIAR TOTAL (LAI)	41
3.2 SUPERFICIE FOLIAR EXTERNA (SA).....	41
4. EVALUACIÓN DEL CONSUMO HÍDRICO	43
4.1 CONTENIDO VOLUMÉTRICO DE AGUA EN EL SUELO.....	43
4.2 PRECIPITACIÓN EFECTIVA.....	44
4.3 DRENAJE	44
4.4 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	45
4.5 CÁLCULO DEL CONSUMO.....	45
5. ESTUDIO DE LOS PROCESOS FISIOLÓGICOS.....	46
5.1 PROCEDIMIENTO DE MEDIDA	47
5.2 ASIMILACIÓN NETA DE CO ₂ , A ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).....	50
5.3 TRANSPIRACIÓN Y CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	50
5.4 ESTADO HÍDRICO DE LA PLANTA, Ψ_f y Ψ_{sa} (MPa).	50
5.5 INTEGRAL DE ESTRÉS.....	50
6. EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD	52
6.1 EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE COSECHA.....	52
6.2 EVALUACIÓN DEL DESARROLLO VEGETATIVO.....	53
7. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MOSTO	54
7.1 DETERMINACIÓN DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (°Brix)	54
7.2 DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ TOTAL ($\text{g ácido tartárico} \cdot \text{l}^{-1}$)	54
7.3 DETERMINACIÓN DEL PH.....	54
CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
1. CARACTERIZACIÓN DE LA SUPERFICIE FOLIAR.....	56
1.1 SUPERFICIE FOLIAR TOTAL.....	56
1.2 SUPERFICIE FOLIAR EXTERNA (SA).....	64
2. CONTENIDO DE AGUA DEL SUELO	66
2.1 CONTENIDO MEDIO DE AGUA EN EL SUELO	66
2.2 CONTENIDO DE AGUA A DISTINTAS PROFUNDIDADES DEL PERFIL.....	69

3. FISIOLÓGIA DE LA HOJA	79
3.1 INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO SOBRE LA CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA AL VAPOR DE AGUA.....	79
3.2 RELACION ENTRE LA CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA Y LA TASA DE FOTOSÍNTESIS NETA.....	80
3.3 RELACIÓN ENTRE LAS CONDUCTANCIAS MÁXIMA AL ESTE (9 hs) Y AL OESTE (15 hs) DE LA ESPALDERA.....	87
3.4 RELACIÓN ENTRE LA TASA DE TRANSPIRACIÓN Y LA CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA.....	89
3.5 EVOLUCIÓN DE LA FOTOSÍNTESIS MÁXIMA DIARIA A LO LARGO DE LA CAMPAÑA.....	90
3.6 VALORACIÓN DEL POTENCIAL FOLIAR Y LA CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA COMO INDICADORES DE ESTRÉS HÍDRICO.....	93
3.7 INTEGRAL DE ESTRÉS HÍDRICO	101
4. CONSUMO DE AGUA DEL SUELO (ET).....	104
5. EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD	117
CAPITULO IV. CONCLUSIONES	120
CAPITULO V. BIBLIOGRAFIA.....	124

INTRODUCCIÓN

Algunas de las regiones vitivinícolas de más renombre a escala mundial, como son: Burdeos y Borgoña, en Francia, así como muchas de las regiones vitícolas de calidad en Alemania, presentan durante el período de actividad de la vid climatologías con evapotranspiración de referencia (ET_o) moderada y precipitaciones regulares de cuantía en absoluto despreciable (Gladstones, 1992).

En muchos casos además, esas circunstancias coinciden con suelos vitícolas profundos y bien aireados, donde se ha constatado que los sistemas radicales rebasan ampliamente el primer metro de profundidad, recurriendo la vid al consumo del agua de horizontes profundos cuando los recursos hídricos de los más superficiales son insuficientes (Richards, 1983; Seguin, 1972). Aunque en estas zonas no se riega la vid de vinificación, se obtiene rendimientos adecuados de fruta de buena calidad, siendo la cantidad de radiación solar interceptada por el viñedo el principal factor limitante para satisfacer sus objetivos de producción (Schneider, 1992; Riou, 1998).

Los rendimientos en cosecha de dichas regiones se hallan restringidos fundamentalmente por el número relativamente bajo de horas de sol durante el período de actividad de la vid, lo cual condiciona la actividad fotosintética global por unidad de superficie foliar expuesta. Esta limitación tratan de atenuarla mediante el desarrollo de altos índices de superficie foliar externa (SA), que será la que contribuya en mayor proporción a la asimilación de CO₂ atmosférico, aunque también el principal vehículo de extracción del agua del suelo. Sin embargo, en tales climatologías ese consumo de agua es un precio que la planta de vid puede pagar, aunque no se le aplique riego suplementario, debido a las circunstancias ya expuestas de demandas atmosféricas menores y disponibilidad de agua para el cultivo más elevada.

No obstante, la mayoría de las áreas de producción de uva se caracterizan por climas de tipo mediterráneo, con temperaturas entre cálidas y elevadas, humedades relativas bajas y escasez de lluvia durante el verano (Williams et al., 1994). Como con los 400-500 mm de precipitación anual –fundamentalmente invernal- es prácticamente imposible que la reserva hídrica del suelo sea suficiente para la planta (Scienza, 1983), es necesario el riego suplementario si se quiere conseguir una cosecha suficiente y de calidad elevada. Si además tenemos en cuenta que en estas zonas se dan a menudo años de sequía, viéndose también

reducida la recarga del perfil durante invierno y primavera, se hace patente que las cepas no sólo pueden padecer un gran estrés hídrico en algún momento de la estación de cultivo (Williams et al., 1994), sino que incluso puede verse comprometida su supervivencia. Sánchez-Díaz y Aguirreola (1996) apuntan que en hábitats secos muchas plantas mantienen un equilibrio precario entre inanición y desecación.

Todas estas circunstancias se ven agravadas en aquellas áreas donde es baja la profundidad del suelo y/o su capacidad de retención de humedad por unidad de volumen - contenido en materia orgánica bajo, porcentaje considerable de elementos gruesos o proporción moderada de arcilla -.

Es este marco de circunstancias en el que se desarrolla la mayoría de la viticultura española, y en concreto la de la zona centro, donde se realizó el experimento de esta tesis.

En España apenas se ha regado la vid cuya producción se destinaba a vinificación, fundamentalmente por razones de mercado (excedentes en la producción, precios bajos de la uva) y por las consiguientes medidas legislativas, pero también debido a la mentalidad y nivel de conocimiento de gran parte de los viticultores. Esta es la causa principal de que los rendimientos por hectárea de este cultivo en nuestro país sean tan bajos en comparación con los de California o Australia (Mullins et al., 1992; García-Escudero et al., 1994; McCarthy, 1997), unas cinco veces superiores a los nuestros. Esas productividades, junto con los precios reducidos que ha alcanzado habitualmente la uva de vinificación en la mayoría de nuestras regiones, legitima denominar como “viticultura de subsistencia” a la practicada en gran parte de España. Y es que en muchos países – fundamentalmente aquéllos en que es más reciente su cultivo, como Estados Unidos, Chile, Argentina, Sudáfrica o Australia – el riego es una práctica común y considerada necesaria para lograr cosechas suficientes y de buena calidad. Por ello, en estos países han sido totalmente distintos los interrogantes que se han planteado en cuanto al uso del riego, así como el enfoque de los consiguientes ensayos científicos. En España, partiendo del objetivo de incrementar los rendimientos, mejorando o al menos manteniendo la calidad de la uva, se han diseñado ensayos donde se aplicaban ciertos volúmenes de agua de riego, durante determinados periodos del ciclo de la planta, mediante riego localizado o no, etc. pero siempre empleando cantidades moderadas que no permitían a la vid satisfacer el 100% de sus necesidades, y contando con que se seguiría produciendo un cierto estrés hídrico en determinados periodos del ciclo (Lissarrague, 1986; García-Escudero, 1991; Bartolomé, 1993; Yuste, 1995; Esteban Lázaro, 1995; Gómez del Campo, 1998; Peláez Rivera, 1999). Por el contrario, en California o Australia, donde dan por supuesto que el riego es imprescindible, se han visto apremiados por la necesidad de aplicar cantidades de agua

inferiores debido a su alto coste, a limitaciones en la disponibilidad de ésta o por los problemas derivados de los elevados volúmenes que empleaban (McCarthy, 1997), como son: el exceso de vigor en las plantas, en detrimento de la calidad de la uva; la contaminación de las aguas subterráneas por lixiviación de fertilizantes; o el aumento del nivel freático del agua en la parcela, con el consiguiente riesgo de eventuales ascensos a la zona de raíces. Estas circunstancias han estimulado la instalación de sistemas de riego localizado, así como el desarrollo de estudios en los que se indagaba cómo reducir aún más esos volúmenes sin afectar negativamente a la marcha del cultivo. Como resultados de esas investigaciones –en muchos casos basadas en trabajos previos con otras especies vegetales –, se han desarrollado conceptos como el de riego deficitario controlado (“regulated deficit irrigation”) o, más recientemente, el secado parcial de raíces (“partial rootzone drying”). La aplicación con éxito de estas técnicas, precisa no sólo de una instalación adecuada de riego de alta frecuencia y de aparatos que midan el contenido volumétrico de agua del suelo (θ_v) o su potencial matricial (Ψ_m), sino de un conocimiento profundo de la fisiología de la vid y de cómo influyen los diferentes factores internos y ambientales en la marcha del crecimiento de sus diferentes órganos, en las relaciones fuente-sumidero, etc. Estas prácticas de riego pretenden optimizar el uso del agua: reduciendo los volúmenes aplicados a través del riego, controlando mejor el crecimiento vegetativo de la planta –lo cual conlleva un ahorro en podas en verde y una mejor eficiencia del control fitosanitario– y por supuesto, manteniendo o mejorando la calidad de la fruta, sin perjudicar el rendimiento en cosecha.

Una muestra más de la diferencia de enfoques entre Europa Meridional y los países del nuevo mundo en cuanto a la problemática del riego y las investigaciones al respecto, es que: mientras que el tratamiento de control en los ensayos realizados en los primeros es el de riego nulo, en los efectuados en Australia o California suele ser la satisfacción del 100% de la demanda evapotranspirativa del viñedo. Gracias a esta discrepancia de puntos de vista se ha generado una base muy amplia de conocimiento sobre las relaciones hídricas en la vid y, por tanto, sobre su fisiología. No obstante, muchos de los estudios de relaciones hídricas se han efectuado con vides en lisímetro. Por otra parte, los trabajos realizados en campo rara vez están bien documentados en cuanto al consumo en sí, o en cuanto a las diferentes variables que influyen en el mismo, como son:

- Caracterización meteorológica de la parcela en el período de estudio:
evoluciones diaria y estacional de la temperatura y de la humedad relativa,
velocidad y dirección del viento, precipitación y evapotranspiración de referencia.
- Descripción de los diferentes horizontes del suelo en que se desarrolla el viñedo:
contenido en elementos gruesos, composición textural, contenido en materia
orgánica y curvas características de humedad.
- Técnicas de mantenimiento del suelo.
- Evolución de los contenidos de humedad del suelo y/o potenciales matriciales a
distintas profundidades, así como la relación entre ambas variables.
- Variedad, clon y portainjerto.
- Descripción cuantitativa del “canopy” de la cepa (Smart, 1973) y su evolución a
lo largo de la campaña.
- Estado hídrico de la planta en diferentes momentos del ciclo.

En lo referente al consumo en sí, son pocas las experiencias que cuantifiquen adecuadamente su evolución estacional.

Dada la escasez general de trabajos de estas características y, en particular, a la falta de conocimientos y datos concretos en condiciones semiáridas en cuanto a la relación entre el contenido de humedad del suelo y su potencial matricial con las respuestas de la vid a diferentes niveles - crecimientos vegetativo y reproductivo, fisiología de la hoja, estado hídrico, maduración de la fruta -, se planteó este ensayo con el objeto de:

- Explicar la influencia sobre el consumo de agua de diferentes variables medidas en el ensayo, como por ejemplo: demanda evaporativa de la atmósfera, régimen de riegos y precipitaciones, contenido de humedad del suelo, transpiración a nivel de hoja, área foliar total, superficie foliar externa, número de pámpanos que vegetan y cosecha producida.

- Evaluar la incidencia del consumo en el comportamiento de la planta en cuanto a fisiología, crecimiento vegetativo, rendimiento y composición del mosto.
- Conocer mejor cómo se adapta la vid a diferentes contenidos de humedad y potencial matricial del suelo.
- Cuantificar para vid en campo la evolución estacional del consumo real de agua en las condiciones semiáridas del centro de la península Ibérica.

Esto se estudió a través de un ensayo de cuatro tratamientos experimentales con plantas adultas de cv. “Tempranillo” en campo. Dichos tratamientos se definieron como combinación de dos factores: cantidad de agua de riego suministrada y número de yemas (por planta o m²) “equilibrado” con esa disponibilidad hídrica (Tassie and Freeman, 1992). Las diferentes aportaciones hídricas se determinaron como cantidades proporcionales (Kc) de la evapotranspiración de referencia (apartado 2.1. de Material y Metodos).

CAPITULO I. ANTECEDENTES

1. RESPUESTAS DE LA VID AL DÉFICIT HÍDRICO

Bravdo y Proebsting (1993) y Kramer y Boyer (1995) comentan que desde el “punto de vista de las plantas” la disponibilidad de agua en el suelo depende de la velocidad a la que las raíces pueden tomar el agua con relación a la demanda de la planta. Ambos, suministro y demanda, son variables. La demanda hídrica de la planta depende principalmente de la tasa de transpiración (E), que varía mucho, dependiendo del tamaño y tipo de planta, y de las condiciones atmosféricas. El suministro de agua a la planta es función de: la densidad de longitud de raíces (longitud de raíces por volumen de suelo), de la eficiencia de las raíces como superficie absorbente (es decir, de su conductividad hidráulica) y de la conductividad hidráulica del suelo (que varía con el tipo de suelo y su contenido en agua). Así un contenido hídrico del suelo adecuado para satisfacer la demanda de la planta en un clima fresco y nublado puede ser muy inadecuado con tiempo cálido y soleado –cuando la transpiración es rápida–, como mostraron los experimentos de Denmead y Shaw (1962).

Existen varias revisiones más o menos recientes sobre las respuestas de la vid al déficit hídrico como son las de Smart y Coombe (1983), Williams y Matthews (1990) y Williams et al. (1994), así como las presentadas en sus tesis doctorales por Bartolomé (1993) y Yuste (1995), ambas a propósito de ensayos de riego con la variedad “Tempranillo” en la zona centro de nuestra península.

No obstante, para una mejor comprensión e interpretación de los resultados descritos en este trabajo, se han resumido y actualizado los conocimientos al respecto, presentándose a continuación.

1.1 EFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO DEL SUELO SOBRE EL DESARROLLO VEGETATIVO

En vides en campo, el primer síntoma visible de déficit hídrico es la reducción en el crecimiento del pámpano (Kasimatis, 1967), que puede ser más sensible al potencial hídrico del suelo que los procesos fisiológicos a nivel de hoja (Williams et al., 1994). Según diversos estudios realizados con numerosas especies vegetales, la disminución en el crecimiento debido a déficits hídricos del suelo – así como en la conductancia estomática, g_s –, no tiene por qué ir asociada a cambios en el potencial hídrico de hojas (Ψ_f), tallos (Ψ_t) o de la planta entera, pudiendo ser una respuesta a algún tipo de señal de raíz (Davies y Zhang, 1991). Se

cree que esa señal es el ácido abscísico (ABA) producido en las raíces o un regulador todavía no identificado (Düring et al., 1996). La velocidad de crecimiento de pámpanos pertenecientes a vides sin fruta es aún más sensible a déficits hídricos del suelo y ha sido recomendada recientemente como indicador de los mismos (Hardie y Martin, 2000).

En climas de tipo mediterráneo no es frecuente que entre desborre y floración se produzcan déficits hídricos en el suelo suficientes como para inhibir el crecimiento de los pámpanos. Ello es debido a las precipitaciones durante ese período así como al almacenamiento de lluvia de invierno en el suelo (Dry y Loveys, 1998).

Becker y Zimmermann (1984) encontraron que el período de floración a envero es el más sensible al aporte de agua en cuanto a sus efectos en el desarrollo vegetativo.

El estrés post-envero tiene poco o ningún efecto en el crecimiento del pámpano (Matthews y Anderson, 1989; Naor et al., 1993; Poni et al., 1994) ya que el desarrollo del “canopy” es completo en gran medida ya en envero (Sommer y Clingeleffer, 1996). Ahora bien, un estrés hídrico intenso durante el período de maduración puede reducir de manera importante el área foliar de la cepa debido a fenómenos de senescencia precoz (Bartolomé, 1993).

De acuerdo con todo lo anterior, el aumento relativo en el peso de madera de poda atribuible al riego depende en gran medida del volumen y momento de aplicación del mismo durante la campaña (Smart et al., 1974). En vides regadas diariamente a varias fracciones (entre 0 y 140%) de la evapotranspiración del viñedo (ET), los pesos de madera de poda aumentaban linealmente con la cantidad de riego (Williams et al., 1994).

Bartolomé (1993) resumió las experiencias de diversos autores en cuanto a la influencia del riego de la vid sobre el peso de madera de poda, oscilando entre 3% y 137% el incremento del mismo producido por el aporte adicional de agua.

1.2 EFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO DEL SUELO SOBRE EL DESARROLLO REPRODUCTIVO

Según las revisiones de Smart y Coombe (1983) y Williams y Matthews (1990):

- El crecimiento reproductivo es menos sensible que el vegetativo al estrés hídrico.
- En situaciones de estrés hídrico la longitud del raquis del racimo, el tamaño de la baya, el índice de cuajado y el rendimiento se reducen. Dependiendo del momento en que se produce el déficit, la fertilidad de las yemas puede verse afectada, aunque hay referencias contradictorias en la bibliografía en cuanto a este punto (Williams y Matthews, 1990).
- El estrés hídrico durante el estado I reducirá generalmente el tamaño final de la baya más que durante los estados II y III.
- Williams et al. (1994) indican además que: la disminución en el tamaño de la baya debido a déficits de humedad durante el estado I no es reversible con un aporte suplementario de riego durante II y III.
- Los efectos del estrés hídrico en el crecimiento de la baya se reflejan en la cosecha final. Los déficits hídricos post-envero tienen un efecto menos negativo en el rendimiento final que los de pre-envero.

1.3 EFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO DEL SUELO EN EL INTERCAMBIO DE GASES Y ESTADO HÍDRICO DE LA PLANTA

1.3.1 ABERTURA ESTOMÁTICA, TRANSPIRACIÓN Y ESTADO HÍDRICO DE LA PLANTA

Las plantas terrestres, y en particular la vid, se enfrentan con demandas opuestas. Por una parte, la atmósfera se encuentra tan alejada de la saturación de agua, que la planta corre peligro de deshidratación, a pesar de que la cutícula sirve como barrera efectiva a la pérdida de agua. Por otra parte, una barrera completa bloquearía el intercambio de O_2 y CO_2 , que es esencial para la respiración y fotosíntesis. Debido a esta limitación, las plantas no pueden impedir la difusión del agua hacia el exterior, sin impedir también la entrada de CO_2 en la hoja. La solución funcional a este dilema es la regulación temporal de las aberturas estomáticas (Sánchez-Díaz y Aguirreola, 1996).

Por otro lado, la transpiración estomática tiene también un carácter positivo. En primer lugar, crea la corriente transpiratoria que transporta rápidamente los nutrientes minerales desde las raíces a las partes aéreas en crecimiento, y en segundo lugar, enfría las hojas cuando el tiempo es caluroso o la luz potente y el agua es abundante (Sánchez-Díaz y Aguirreola, 1996).

Los estomas están controlados por numerosos factores ambientales, además de por factores internos. En situaciones de déficit hídrico, los estomas juegan un papel fundamental en la conservación de agua por parte de la planta. Numerosas evidencias apoyan que el estrés hídrico origina una reducción de la conductancia estomática en la vid tanto diaria como estacionalmente (Williams et al., 1994; Düring et al., 1996).

Los trabajos de Lösch et al. (1982) sugieren que la evolución decreciente de las conductancias máximas al disminuir los potenciales hídricos de base ($\Psi_{a.a}$) cuando progresa la sequía estacional, y las conductancias continuadamente elevadas a pesar de los bajos potenciales foliares a mediodía con disponibilidades hídricas del suelo suficientes en plantas, pueden indicar una respuesta estomática a disminuciones del potencial hídrico de la planta a largo plazo, pero no a reducciones a corto plazo del mismo. Análogamente, Bartolomé (1993) interpretó a partir de las relaciones obtenidas en “Tempranillo” entre g_s y Ψ_f , que existían formas de regulación estomática independientes del potencial hídrico foliar. Lösch y Schulze

(1995) afirmaron que generalmente el estrés hídrico a largo plazo es causado por disminuciones del potencial hídrico del suelo, mientras que los cambios a corto plazo en plantas ocurren principalmente según un modelo diario en las hojas.

En relación con este asunto, Dry y Loveys (1998) encuentran que los análisis del control estomático realizados durante la última década han servido principalmente para invalidar la teoría del control estomático exclusivamente mediante el estado hídrico de la hoja, y para demostrar que los cambios en la fisiología de la misma están más próximamente ligados a cambios en el estado hídrico del suelo que a los de la hoja.

Los factores esenciales a tener en cuenta para comprender la regulación estomática en circunstancias de déficit hídrico son: el contenido de agua en el suelo y su flujo a través de la planta, el ácido abscísico, el potencial hídrico foliar y el déficit de presión de vapor de la atmósfera (DPV).

Para explicar en plantas de vid los cambios que se producían en la conductancia estomática como respuesta a déficits hídricos en el suelo, Düring et al. (1996) utilizaron con éxito el modelo de Tardieu y Davies (1993), que integra señales químicas e hidráulicas como causantes de ese cierre estomático. Düring et al. (1996) tuvieron en cuenta también los trabajos de Correia et al. (1995), que probaban que podía emplearse en vid dicho modelo, que se basa en:

- 1.) La producción de la señal química en las raíces depende del estado hídrico de las mismas, que viene influido por el flujo de agua a través del continuo suelo-planta-atmósfera.
- 2.) El flujo de agua diluirá la concentración de la señal en la savia del xilema.
- 3.) La sensibilidad estomática a la señal aumenta al disminuir el potencial hídrico foliar.

En ese sentido, la disminución del potencial hídrico foliar actuaría como un amplificador de esa señal química en la hoja, siendo el ácido abscísico el compuesto más sólidamente referenciado como tal (Düring et al., 1996).

Düring et al. (1996), encontraron que los cambios a nivel diario de la conductancia estomática, como por ejemplo la depresión a mediodía, parecen estar causados por la sensibilización y desensibilización de los estomas al ácido abscísico (ABA). A una escala de

tiempo más larga: un aumento gradual de la sequía del suelo induce concentraciones crecientes de ABA en el xilema, lo cual se cree que induce una disminución en la conductancia estomática y la consiguiente mejora en la eficiencia intrínseca del uso del agua (A/g_s). Puede asumirse que sólo bajo condiciones de deficiencias hídricas severas del suelo comenzarán las hojas a sintetizar ABA, lo que causará entonces un cierre estomático más completo.

Williams et al. (1994) comentan que en un ensayo de distintos tratamientos de riego (varias fracciones de la evapotranspiración total del viñedo) con cv. "Thompson Seedless" encontraron una alta correlación entre el contenido de agua en el suelo y la conductancia estomática a mediodía, explicando el primero hasta $2/3$ de la variación que experimentó g_s . Este autor matiza que sólo los tratamientos a los que aplicó las fracciones más bajas de riego (20% y 60% de la evapotranspiración total del viñedo) experimentaron una disminución del contenido de agua en el suelo al avanzar la estación.

La diferencia de presión de vapor entre la hoja y la atmósfera juega también un papel fundamental en la apertura estomática en *Vitis vinifera* L.. Un aumento del déficit de presión de vapor por encima de un determinado umbral, produce una disminución en g_s cuya magnitud que depende del cultivar (Düring, 1987) y del contenido de humedad del suelo (Düring, 1976 y 1979), siendo la reducción en la conductancia más acusada cuando el sistema radical no se encuentra bien abastecido de agua. Este hecho es de gran trascendencia puesto que la concurrencia de contenidos bajos de humedad en suelo y elevados déficits de presión de vapor es habitual que suceda en verano en los viñedos cultivados en secano en zonas de clima mediterráneo, y de forma particularmente intensa por la tarde. En ambientes semiáridos, como en el que se desarrollan los ensayos de esta tesis, el déficit de presión de vapor y la temperatura están altamente correlacionados (Grimes et al., 1987).

Pereira y Chaves (1993) ilustran la capacidad de adaptación estomática de la vid a disponibilidades hídricas diferentes, con datos de evolución diurna de la conductividad estomática y del potencial hídrico foliar para dos regímenes hídricos. A las 9 hs (hora solar) se registraron las aberturas estomáticas máximas en ambos casos, pero en las cepas sometidas a estrés severo era aproximadamente la mitad que en las regadas. El cambio más dramático se producía, sin embargo, después: mientras que en vides regadas g_s mantenía una tendencia decreciente pero con valores adecuados para la asimilación de CO_2 , en las afectadas por estrés severo el cierre era casi completo ya a mediodía. Esto constituye un mecanismo de conservación del agua, y por tanto de defensa frente a la sequía, que permitía que los potenciales foliares diurnos de las plantas muy estresadas no descendieran más que en el

tratamiento regado. En las tesis doctorales de Bartolomé (1993), Antunes Lopes (1994) y Yuste (1995) se estudiaron las respuestas de diferentes parámetros fisiológicos de la hoja al régimen hídrico tanto a escala diurna como estacional, en vides en campo bajo condiciones semiáridas en diferentes zonas de la península Ibérica. Estos autores encuentran que la conductancia estomática es siempre superior en cepas regadas que en las no regadas debido a la diferente disponibilidad hídrica, acentuándose las diferencias en g_s en general al avanzar el día y al avanzar la estación, en justa respuesta al déficit hídrico diario y estacional. La influencia del déficit hídrico sobre g_s puede hacerse patente relativamente pronto en la estación y así Yuste (1995) encontró en mediciones efectuadas en plantas de “Tempranillo” en la Ribera del Duero, que ya en julio se apreciaban diferencias significativas por la tarde entre plantas regadas y no regadas, resultando en el mes de agosto altamente significativas a casi todas las horas del día. En plantas estresadas, g_s comienza a disminuir por la mañana, a horas variables según el caso concreto, pudiendo incluso permanecer casi cerrados los estomas durante el resto del día (Bartolomé, 1993).

En la mayoría de las plantas la resistencia estomática es la que normalmente limita la tasa de transpiración (Azcon-Bieto y Talon, 1996). Trabajos como los de Lakso (1985), Düring (1987) y Bartolomé (1993) muestran una buena correlación entre esta variable y la conductancia estomática, guardando ambos parámetros fisiológicos una relación lineal positiva.

Por otro lado, Williams et al. (1994) resumieron los efectos de la disponibilidad de agua en el suelo, y en particular de las condiciones de sequía, sobre el potencial hídrico foliar, indicando que, aunque el mecanismo por el que responde la vid a déficits hídricos es más evitar la sequía que tolerarla, hay estudios que indican que cultivares de *Vitis vinifera* L. pueden osmorregular.

A pesar de que Bartolomé (1993), Antunes Lopes (1994) y Yuste (1995), entre otros, discuten ampliamente los efectos del riego y del déficit hídrico sobre la fisiología de la hoja, al no disponer estos autores de medidas del contenido de humedad del suelo o de la evapotranspiración real del cultivo, se hallan limitadas sus posibilidades para ponderar los efectos del déficit hídrico sobre los parámetros fisiológicos a nivel de hoja.

1.3.2 FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis en plantas C_3 es muy sensible al estrés hídrico, atribuyéndose este comportamiento en gran medida al rápido cierre de estomas, con la reducción paralela en la toma de CO_2 y su disponibilidad. La respuesta fotosintética de la hoja de *Vitis vinifera* L. ante diversos factores ambientales, y en concreto frente al estrés hídrico, es similar a la de las otras especies de plantas C_3 (Williams et al., 1994). Dado el tipo de curva que relaciona a la tasa de fotosíntesis (A) con g_s (Lakso, 1985; Williams et al., 1994; Düring et al., 1996), cuando la conductancia es elevada, una disminución de la misma repercute mínimamente en la tasa de fotosíntesis; sin embargo, para rangos bajos de conductancia, una reducción de ésta origina también un decremento importante en la asimilación neta de carbono, aunque proporcionalmente menor. Es decir, al disminuir la conductancia aumentaría la eficiencia intrínseca del uso del agua (A/g_s).

Cabe añadir que, bajo condiciones de déficit hídrico del suelo, la influencia de fenómenos de fotoinhibición en la reducción de las tasas de fotosíntesis neta en vid es escasa en comparación con la limitación bioquímico-estomática, como indican los estudios realizados, entre otros, por Gamon y Pearcy (1990) con *Vitis californica* Benth. y los de Flexas et al. (1998) y Iacono y Somer (2000) con *Vitis vinifera* L..

Por otra parte, hay numerosas evidencias de que en plantas C_3 , y en concreto en vid, la fotorespiración es un mecanismo importante en la disipación del exceso de energía primaria absorbida por las hojas, protegiendo por tanto el aparato fotosintético frente a la fotooxidación (Mullins et al., 1992; Albuquerque-Regina, 1993). Su papel es particularmente destacado en situaciones de estrés hídrico (Bunce y Miller, 1976; Düring, 1988; Düring, 1991; Albuquerque-Regina, 1993) en las que, debido a la reducción en la abertura estomática, el suministro de CO_2 es insuficiente en relación a la radiación fotosintéticamente activa (PAR) que recibe la hoja, y además se halla limitada la posibilidad de liberar energía en forma de calor latente mediante la transpiración (Nobel, 1991). Se ha estimado que la pérdida de CO_2 debida a fotorespiración en plantas de vid no estresadas se halla entre el 13 y el 20% de la tasa de asimilación neta de CO_2 , mientras que en las que padecen déficit hídrico supone entre el 35 y 50% (Düring, 1988 y 1991).

Yuste (1995) indica que el modelo medio general de la fotosíntesis de hojas expuestas directamente a la luz se corresponde con la presencia de un mínimo a las 12 hs y dos máximos a media mañana y media tarde, respectivamente, siendo superior en general el de la mañana.

Este autor añade que dicho perfil se va alterando en función de la disponibilidad de agua y de la época del año para los distintos tratamientos, llegándose en algunos casos a producir un descenso casi continuo desde la mañana. A primera hora de la mañana, las cepas con menor disponibilidad de agua en el suelo pueden tener valores de asimilación tan buenos como las bien regadas (Downton et al., 1987). Sin embargo, al avanzar el día la tasa de fotosíntesis de las estresadas disminuirá, en contraste con la tasa casi constante de asimilación en las no estresadas, acentuándose dicho efecto al avanzar la estación.

1.4 EFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO DEL SUELO EN LA COMPOSICIÓN DE LA FRUTA

La bibliografía contiene datos contradictorios sobre los efectos del estrés hídrico y del riego sobre la composición de la baya, como se desprende de las revisiones efectuadas por Smart y Coombe (1983), Bartolomé (1993), Antunes Lopes (1994), Williams et al. (1994), Yuste (1995), Esteban Lázaro (1995), McCarthy (1997) o Ginestar et al. (1998b), entre otros. La acumulación de azúcares en las bayas se encuentra menos afectada por déficits hídricos que su crecimiento (Williams y Matthews, 1990). No obstante, el estrés severo, al disminuir las tasas de fotosíntesis e incluso originar senescencia y caída precoz de hojas, puede reducir la disponibilidad de fotoasimilados para las bayas y, por tanto, la acumulación de azúcares en las mismas (Hardie y Considine, 1976; Bartolomé, 1993; Barbagallo et al., 1998; Brown y Sluggett, 2000). Una pérdida de masa foliar supone además una alteración del microclima de racimos, lo cual influye en diversos aspectos de la composición final de la uva (Smart y Robinson, 1991). En climas de tipo mediterráneo la fruta quedaría expuesta a radiación solar intensa y altas temperaturas, condiciones que, entre otros efectos, reducen la acidez (Morlat et al., 1992).

En vista de los resultados obtenidos en ensayos de riego en Israel, Bravdo (1996) afirma que mientras que los valores de “peso de cosecha: peso de madera de poda” se hallen dentro del rango que no afecta negativamente la calidad de la uva, un aumento en la dosis de riego está asociado con un aumento en la calidad. McCarthy (1998) aconseja que las cepas de altas producciones y vigor, se estresen de envero a vendimia sólo lo suficiente para minimizar el crecimiento vegetativo nuevo, pero sin retardar la acumulación de azúcar.

2. RESPUESTAS DE LA VID A UNA ALTA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL SUELO

La vid es una especie que presenta una gran capacidad de adaptación a la sequía, pero también es igualmente cierto que posee una gran capacidad de respuesta a los aportes de agua (Scienza, 1983; Carbonneau, 1998). Un alto contenido de agua en el suelo (aunque no tanto como para causar encharcamiento) tiene efectos opuestos a los que origina el déficit hídrico en el crecimiento y rendimiento de la vid (McCarthy, 1997). Consecuentemente, viñedos bien regados se caracterizan por tener pámpanos largos y gruesos, con muchos anticipados, racimos de gran tamaño, con más bayas por racimo y más grandes. Según Grimes y Williams (1990) el rendimiento está relacionado linealmente con la ET del viñedo cuando se repone entre el 40 y el 100% de la misma.

Los potenciales hídricos antes del amanecer serán menos negativos que los de plantas estresadas y, a pesar de presentar también una evolución decreciente a lo largo de la mañana, se recuperarán más rápido en la tarde. En cuanto a la conductancia estomática, aunque puede reducirse en días con alto déficit de presión de vapor, esto ocurrirá durante la tarde.

3. MONITORIZACIÓN DEL RIEGO. INDICADORES DE ESTRÉS HÍDRICO

Las técnicas usadas para determinar la oportunidad del riego se pueden agrupar en tres categorías: medición de las condiciones ambientales para estimar la evapotranspiración –y de ahí la reserva teórica de agua en el suelo-, control de la humedad del suelo y mediciones realizadas en la planta (Goldhamer y Snyder, 1989; Mullins et al., 1992; Vallone et al., 1997). El fin último de esa información es desarrollar estrategias de riego que permitan obtener una producción acorde con los criterios de elaboración y de mercado de la empresa (Ginestar et al., 1998a).

Según diversos autores (Kramer, 1983; Goldhamer y Snyder, 1989; Myburgh, 1996; Ginestar et al., 1998a; Riou y Lebon, 2000) aquellas técnicas de monitorización que se basan en respuestas medidas en la planta pueden ser más útiles para asesorar las decisiones de riego que las basadas en medidas individuales de los factores que influyen en el uso de agua, como son: el tamaño del “canopy”, las condiciones meteorológicas o la disponibilidad de agua del suelo. Además, en viñedos regados mediante riego localizado esta aproximación podría ser más práctica y fiable, al complicarse la monitorización del consumo de agua debido al humedecimiento parcial e irregular del suelo (Myburgh, 1996).

3.1 MEDICIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES: ESTIMACIÓN DE LA RESERVA DE AGUA EN EL SUELO

Este método consiste en monitorizar todas las adiciones y pérdidas de agua en el campo para mantener un contenido hídrico adecuado en el suelo. El componente más importante y difícil de determinar en el cálculo de la reserva del suelo es el consumo del agua por el cultivo (Goldhamer y Snyder, 1989). Este término se calcula como producto de la evapotranspiración de referencia –obtenida a partir de fórmulas en las que se introducen los datos meteorológicos necesarios o a partir de la medida del tanque evaporimétrico-, por el coeficiente de cultivo adecuado para cada momento de la campaña, variedad considerada, tipo de conducción y localización (Mullins et al., 1992).

Aunque la cubeta evaporimétrica y el coeficiente de cultivo se ha usado ampliamente para estimar el uso de agua del viñedo, ambos se basan en numerosos supuestos que pueden ser incorrectos (Bravdo y Proebsting, 1993; McCarthy, 1998). En general, en cultivos leñosos los valores de ET no se correlacionan con los de la ETo con la misma bondad con que lo

hacen los cultivos herbáceos (Girona, 1994). Por otra parte, el coeficiente de cultivo (K_c) relaciona la evapotranspiración de un cultivo libre de plagas y enfermedades, cultivado en campos grandes bajo condiciones óptimas de estado hídrico y fertilidad del suelo, y logrando un potencial pleno de producción para el entorno en que se encuentra (Doorenbos y Pruitt, 1977). Por tanto, en la curva estacional del coeficiente de cultivo influyen factores como la densidad de plantación, el tipo de conducción y el desarrollo estacional del “canopy” -que afectan en último término a la intercepción de luz por el viñedo (Williams, 1999)-, y otros como las prácticas de manejo del cultivo, la variabilidad del suelo, el clima y la localización de la plantación (Ritchie y Johnson, 1990). Siguiendo el criterio de Doorenbos y Pruitt, (1977), Williams et al.(1993) calcularon con plantas del cv. *Thompson Seedless* en lisímetro los K_c que aseguraban que a lo largo del ciclo no se produjera estrés hídrico en ningún momento, dando lugar a una productividad máxima. En la tesis doctoral de Yuste (1995) se recopilan los coeficientes de cultivo usados o recomendados para vid en diversas publicaciones. En experiencias donde se empleó un K_c constante, éste se encontraba entre 0,2 (Van Rooyen et al., 1980) y 0,7 (Safran et al., 1975). Las propuestas de coeficiente de cultivo variable oscilaban desde rangos moderados como son: 0,27-0,14 (Hepner et al., 1985) y 0,13-0,36 (Van Zyl y Van Huyssteen, 1988), hasta intervalos de K_c elevados como 0,5-0,8 (Safran et al., 1975) y 0,75-0,85 (Caló y Giorgessi, 1985a y 1985b).

3.2 CONTROL DE LA HUMEDAD DEL SUELO

El manejo del riego por goteo a un alto nivel en viñedos comerciales es muy difícil si no se dispone de instrumentos para monitorizar el agua en el suelo, especialmente en las zonas en que se riega cada dos días o menos durante los períodos muy calurosos (Brown y Sluggett, 2000). Asimismo, para determinar cuándo regar después de una lluvia es interesante la monitorización del agua en el suelo, pues en muchos casos los viticultores sobrestiman lo que la lluvia ha humedecido efectivamente el suelo y dejan que se seque la porción superior del perfil, donde se encuentran la mayoría de las raíces si la instalación del riego es por goteo, produciéndose estrés en las cepas (Brown y Sluggett, 2000).

Entre los indicadores de diagnóstico de estrés hídrico en vid a nivel del suelo encontramos:

- Perfiles de humedad volumétrica
- Medidas tensiométricas

Ambas técnicas son ampliamente usadas en muchas regiones vitícolas del mundo como ayudas para la programación del riego (Myburgh, 1996) y han permitido aproximar la cantidad de agua suministrada con el riego al uso real de la misma por el cultivo (McCarthy, 1997). Estos instrumentos se han empleado inicialmente, y de forma más profusa, en países como Australia, Israel y Sudáfrica donde, siendo el riego una técnica habitual, el agua tiene una disponibilidad limitada o alta salinidad (McCarthy, 1997). La relación entre θ_v y Ψ_m puede describirse para un suelo particular a través de la curva característica del mismo (elaborada mediante la cámara de presión de Richards, 1965), siendo además necesario conocer el efecto de histéresis de los procesos de humedecimiento y secado del suelo (Haines, 1930). No obstante, en la conversión del contenido de humedad del suelo a potencial matricial existe siempre cierto error (McCarthy, 1997).

Pudney et al. (2000) señalan como beneficios potenciales de la monitorización de agua del suelo: el ahorro del uso de agua y por tanto de los costes de bombeo, el evitar las pérdidas excesivas de nutrientes del suelo por lixiviación, así como encharcamientos, la disminución del impacto ambiental y la mejora de la calidad de la uva - especialmente si se practican riegos deficitarios -. McCarthy (1998) es más estricto en este punto, considerando necesaria la monitorización de θ_v para llevar a cabo estrategias de riego deficitario controlado. Este autor añade que la monitorización regular del suelo también indicará las necesidades de riego durante otros períodos del ciclo, y el viticultor sabrá exactamente cuando comenzar el riego cada campaña, el volumen de agua a aplicar en cada riego y el intervalo entre los mismos. Bravdo y Proebsting (1993) señalaron que, en el caso de sistemas de riego localizado, no tiene sentido el empleo del contenido hídrico medio del perfil para programar el riego. Esto se debe a que la absorción del agua es más rápida habitualmente en las capas superiores del suelo, donde el potencial matricial es mayor, aumentando progresivamente la absorción en zonas profundas al consumirse el agua en las más superficiales.

3.2.1 TÉCNICA DE TDR (“TIME-DOMAIN REFLECTOMETRY”)

A partir de ensayos efectuados en un elevado número de plantaciones, Parchomchuk et al. (1997) consideraron que la técnica de TDR era un método rápido y efectivo de medir el contenido de agua en el suelo en plantaciones regadas por goteo o microaspersión, especialmente si se monitorizaban frecuentemente diferentes lugares. Green y Clothier (1995 y 1999) también han encontrado satisfactoria esta técnica, contrastando las medidas de humedad del suelo efectuadas a través de TDR, con las de flujo de savia tomadas en la planta. La determinación del consumo de agua en la plantación a partir de cambios de θ_v requiere, sin embargo, que se use un número suficiente de sondas para detectar la distribución espacial del agua dentro de la zona de raíces. Por otra parte, debido a la redistribución del agua en el suelo después de un riego, las medidas realizadas cerca de los emisores dependen enormemente del momento después del riego en que se efectúe la medida. Es importante, por tanto, ser consistente en la programación de las mediciones en relación a los momentos de riego, si se quiere comparar los efectos de diferentes prácticas de manejo de riego sobre θ_v . Green y Clothier (1999) apuntan que a la hora de calcular la absorción de agua por las raíces a las distintas profundidades del perfil habría que tener en cuenta no sólo que parte del agua se evapora desde la superficie del suelo, sino también el incremento de humedad que supone el riego, así como las pérdidas por percolación.

Otras puntualizaciones al uso de esta técnica son las señaladas por Zegelin et al. (1992). Éstos concluyeron que:

- Es más adecuada para los suelos de textura más ligera
- Las medidas son extremadamente sensibles al suelo más próximo a las sondas, siendo el volumen de suelo muestreado proporcional al diámetro de las sondas.
- La conductividad eléctrica de los suelos atenúa la señal de TDR, limitando la técnica a suelos de baja salinidad
- El uso de una relación empírica universal $\theta_v(Ka)$, da lugar a balances hídricos a escala diaria en el rango de $\pm 10\%$ respecto de los calculados usando lisímetros pesantes.

Una ventaja adicional de la técnica de TDR es la escasa necesidad de calibración (Rundel y Jarrel, 1989).

Persson y Berndtsson (1998) han encontrado que los efectos de la temperatura en las medidas realizadas con TDR de contenido de agua y conductividad eléctricas introducen errores significativos en dichas medidas, siendo mayor la dependencia de la temperatura en suelos arenosos.

3.3 INDICADORES DE LA PLANTA

El que la disponibilidad de agua en el suelo no dependa sólo del contenido volumétrico de la misma en el suelo o del potencial matricial del suelo, sino de otras características del perfil (conductividad de agua en el suelo para diferentes niveles de humedad), de la demanda atmosférica y de múltiples parámetros de la planta -densidad y profundidad de enraizamiento, ajuste fisiológico de la planta al estrés hídrico- (Ahuja y Nielsen, 1990), justifica que numerosos investigadores consideren más interesantes aquéllos indicadores del estado hídrico que se basan en medidas efectuadas en las plantas (Kramer, 1983).

Los indicadores de estrés hídrico de la planta comúnmente evaluados son: conductancia estomática, potencial hídrico de la hoja, potencial hídrico del tallo, temperatura de la hoja, intensidad del flujo transpiratorio y crecimiento de diversos órganos -tronco, brotes, ápice- (Vallone et al., 1997; Myburgh, 1996; Smart y Coombe, 1983; Riou y Lebon, 2000; Williams et al., 1994; Shackel et al., 1997; Choné et al., 2000; Hardie y Martin, 2000)

Shackel et al. (1997) comentan que cualquier medida del estrés de la planta, para ser indicador útil de sus necesidades hídricas, debería estar íntimamente relacionada con las respuestas de la planta al estrés a corto y medio plazo, como son el cierre estomático y la reducción de la tasa de crecimiento expansivo.

Por otra parte, Riou y Lebon (2000) apuntan que el comportamiento isohídrico de la vid (estabilidad del contenido en agua de sus tejidos bajo una amplia gama de estrés hídrico) sugiere que los indicadores relacionados con la intensidad de flujos transpiratorios o su regulación -en particular la temperatura foliar- serían los más sensibles para las intensidades de estrés halladas en situación agronómica.

A continuación se comentarán con más detalle aquellos indicadores de la planta que se han empleado en el presente estudio.

3.3.1 CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA

Se encuentra demostrado que el cierre estomático es una respuesta temprana al estrés hídrico y que se produce incluso antes de que sea detectable cambio alguno en el potencial hídrico foliar (Correia et al., 1990; Flexas et al., 1998).

Grimes y Williams (1990) encontraron una estrecha relación entre los déficits hídricos impuestos a las cepas a través del riego y sus rendimientos en cosecha correspondientes, y la medida a mediodía de la conductancia estomática (así como del potencial hídrico foliar), consistiendo los tratamientos experimentales en la aplicación, respectivamente, de 40, 60, 80, 100 y 120% de la ET del viñedo.

Williams (1996), en un ensayo de dosis de riego con cv. *Chardonnay* encontró un bajo coeficiente de determinación para la relación entre la conductancia estomática a mediodía en hojas plenamente iluminadas y el contenido de humedad del suelo, indicando que estos resultados probablemente se debían a la influencia de la temperatura ambiente y del déficit de presión de vapor sobre el funcionamiento estomático.

Fiscus et al. (1984) y Fiscus et al. (1991) monitorizaron con éxito el riego empleando un porómetro de flujo de masa y detectando la necesidad de riego a través de la disminución de la conductancia estomática.

3.3.2 POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR

Muchas plantas presentan marchitamientos y cierre parcial de estomas transitorios a mediodía en días soleados, incluso con contenidos elevados de humedad en el suelo (Kramer y Boyer, 1995). El potencial hídrico de los tejidos no es siempre una medida válida para expresar su estado hídrico, tal como se ha considerado durante muchos años, pero continúa teniendo gran valor en estudios de flujos hídricos o como componente de la presión de turgencia (Sánchez-Díaz y Aguirreola, 1996).

Williams (1996) encontró una reducción lineal significativa del potencial hídrico foliar a mediodía al ir disminuyendo el contenido de humedad del suelo, en cepas de *Chardonnay* regadas a diferentes dosis de la ET del viñedo (25, 50, 75, 100 y 125%), explicando la variación de θ_v en un 82% la de Ψ_f . Los datos presentados de θ_v oscilaron entre 37 y 32% v/v y Ψ_f a mediodía se movió en el rango de $-0,5$ a $-1,5$ MPa.

Carbonneau (1998) presentó la siguiente clasificación de potenciales hídricos foliares de base en función del grado de estrés hídrico a que corresponden en vid, a partir de observaciones efectuadas en diferentes viñedos y para diversas variedades:

<i>Rangos de potencial hídrico foliar de base (MPa)</i>	<i>Grado de estrés hídrico</i>
$-0,2 \leq \Psi \leq 0$ $-0,4 \leq \Psi \leq -0,2$ $-0,6 \leq \Psi \leq -0,4$ $\Psi < -0,6$	<i>Ausencia de estrés hídrico</i> <i>Estrés hídrico ligero</i> <i>Estrés hídrico considerable</i> <i>Estrés hídrico severo</i>

Vallone et al. (1997) encontraron que el potencial hídrico foliar a mediodía detectaba las diferencias en disponibilidad hídrica en el suelo unos 20 días antes que el potencial foliar de base. Estos autores realizaron también una clasificación de los potenciales hídricos foliares a mediodía en tres categorías, según el efecto observado sobre el crecimiento del brote y los componentes del rendimiento, encontrando que dichos efectos eran despreciables para valores superiores a $-1,4$ MPa, que la influencia era media entre $-1,4$ y $-1,6$ MPa y alta para potenciales foliares a mediodía inferiores a $-1,6$ MPa. Realizaron una clasificación análoga para el potencial de base, siendo los intervalos correspondientes: potencial foliar de base superior a $-0,5$; entre $-0,5$ y $-0,7$ MPa; e inferior a $-0,7$ MPa, respectivamente. Por su parte, Pereira y Chaves (1993) consideran que se produce estrés hídrico moderado en vid cultivada en campo a potenciales foliares de base de $-0,4$ MPa.

En trabajos realizados con vid en Francia y California, Choné et al. (2000) encontraron que al comparar el potencial hídrico foliar de base, el diurno y el potencial hídrico del tallo, éste último resultaba ser el indicador que mejor discriminaba tanto el déficit hídrico moderado como el severo, presentando la correlación más alta con la tasa de transpiración. Además, Ψ_t reflejaba el inicio de déficits hídricos antes que el potencial de base. Estos autores indican también que Ψ_t era el único de los tres potenciales que indicaba déficit hídrico a corto plazo después de una lluvia.

3.3.3 INTEGRAL DE ESTRÉS HÍDRICO

A partir de medidas del potencial foliar de base efectuadas a lo largo de un período de tiempo, se puede calcular la “integral de estrés hídrico”, que fue definida por Myers (1988). Esta función expresa la intensidad y duración del estrés respecto de un mínimo en un período determinado y se calcula mediante la fórmula:

Ec. I.1
$$S\psi = \left[\sum_{i=0, t} (\psi_{i, i+1} - c) \cdot n \right]$$

Donde,

c: valor máximo del potencial hídrico foliar antes del amanecer medido en todos los tratamientos durante el período de estudio considerado

$\psi_{i, i+1}$: potencial hídrico foliar antes del amanecer medio en un intervalo $i, i+1$

n: número de días del intervalo

y los diferentes términos del sumatorio corresponden a los intervalos de tiempo entre medidas consecutivas de potencial hídrico foliar antes del amanecer

Ginestar et al. (1998a y 1998b) han empleado con éxito la integral de estrés para explicar los efectos del estrés hídrico post-envero en vid (cv. Shiraz) sobre el área foliar, el rendimiento en cosecha y diversos parámetros de calidad de la uva -peso de la baya, contenido en fenoles totales y contenido en antocianos-. Estos autores hallaron que el área foliar que quedaba en las cepas en vendimia estaba relacionada lineal pero inversamente con la intensidad y duración del estrés hídrico post-envero.

4. CONSUMO DE AGUA DEL VIÑEDO

El consumo de agua del viñedo (ET) comprende la evaporación de la superficie del suelo y el uso de agua de la planta, variando enormemente, en consecuencia, según la zona, la estación y las prácticas de cultivo (McCarthy, 1997).

Para explicar el movimiento del agua en la planta resulta muy útil la teoría de que suelo, planta y atmósfera forman un sistema físico integrado o continuo, en el que la transpiración es la fuerza motriz más importante para el movimiento de agua a través de la planta (teoría SPAC - Van den Honert, 1948 -). No obstante, esta teoría simplifica demasiado el fenómeno del movimiento del agua en la planta, ya que asume que la transpiración se halla equilibrada con la absorción del suelo y que la resistencia al flujo es constante, condiciones que rara vez existen (Kramer y Boyer, 1995).

4.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CONSUMO

Diversos autores destacan la influencia de múltiples factores en la evapotranspiración real del cultivo, como son: clima, tipo de suelo, variedad, patrón, edad de la plantación, estado de crecimiento del cultivo, situación y orientación de la parcela, sistema de riego y otras prácticas culturales (Doorenbos y Pruitt, 1977; Loomis, 1983; Mullins et al., 1992; Girona, 1994; McCarthy, 1997). Doorenbos y Pruitt (1977) consideraron que los aspectos que más afectaban al consumo de agua en vid eran el espaciamiento entre líneas y entre plantas, la poda, la extensión y altura de la espaldera, y las características varietales.

De entre las prácticas culturales, Mullins et al. (1992) destacan la influencia del sistema de conducción en la cantidad de agua usada por el viñedo. Por su parte, Van Zyl y Weber, (1981) señalaron la repercusión que tiene la programación de riego en el coeficiente de cultivo (K_c). Así por ejemplo, las pérdidas por evaporación de la superficie del suelo aumentan -especialmente en climas templado-cálidos- si se riega de forma frecuente, incrementando así el coeficiente de cultivo. Diversos autores han estudiado la influencia del sistema de irrigación en el consumo del viñedo. Es el caso de Smart et al. (1974), que comparando el riego por surcos con el sistema de aspersión en viñedos de *Shiraz* situados en un clima árido y cálido, concluyeron que la segunda técnica empleaba de forma más eficiente el agua, obteniéndose rendimientos similares con K_c 0,4 aplicado con aspersión, que con K_c 0,5 distribuyendo el agua por surcos. Comparando los sistemas de goteo y microaspersión,

Saayman y Lambrechts (1995) obtuvieron un 25% de ahorro de agua con el primero. Esa diferencia se debía principalmente al mayor volumen de suelo humedecido mediante microaspersión.

Numerosos trabajos corroboran asimismo la influencia del contenido de humedad del suelo en el consumo (Van Rooyen et al., 1980; Coombe y Dry, 1992; Mullins et al., 1992; Trambouze y Voltz, 1996; Eastham y Gray, 1998; Gómez del Campo, 1998). En este sentido es importante tener presente que en un suelo determinado, la disponibilidad del agua para las plantas no es fija para cada valor de contenido en volumen o de potencial matricial, sino que depende de las condiciones atmosféricas y propiedades de las plantas (Ahuja y Nielsen, 1990). Veihmeyer y Hendrickson (1955) consideraban que en los ensayos de riego era más importante la ocurrencia o ausencia de períodos de suelo seco, que la tabulación de las cantidades aplicadas. En este mismo sentido, Van Zyl y Weber (1981) constataron que el ratio entre el consumo del viñedo y la lectura del tanque de clase A, disminuía según se distanciaba la fecha de riego y se hacía más negativo el potencial matricial. Doorenbos y Kassam (1979) propusieron que la evapotranspiración de la vid no se veía restringida por la disponibilidad de agua del suelo hasta que la proporción de agua disponible para la planta no caía por debajo de un umbral, que dependía de la ET del viñedo a su vez. Por ejemplo, sugirieron que para ET de 5 mm/día, se podía consumir el 40% de la capacidad de reserva de la profundidad ocupada por las raíces, mientras, para ET 9mm/día, las condiciones del suelo eran restrictivas cuando faltaba más del 25% de la reserva máxima. En contraste con lo anterior, Stevens y Harvey (1996), trabajando con vides de gran tamaño, comprobaron que una vez que el porcentaje de agua disponible era menor del 100%, se veía ya limitada la evapotranspiración del cultivo y, por tanto, Kc. McCarthy (1997) encontró en plantas regadas al 100% de sus necesidades que el cambio diario en θ_v inmediatamente después de un riego era de 5,7 mm/día en el período floración-vendimia, mientras que sólo ascendía a 2,7 el día previo al siguiente riego (unos 10 días después). Los Kc correspondientes a esos consumos fueron 0,83 y 0,41, respectivamente.

Múltiples estudios han señalado la correspondencia entre la curva de consumo de agua y la curva de desarrollo foliar (Hardie y Considine, 1976; Freeman y Smart, 1976; Van Rooyen et al., 1980; Prior y Grieve, 1987; Williams y Grimes, 1987; Gómez del Campo, 1998). Mériaux et al. (1981) observaron en cv. *Garnacha* que la absorción de agua se relacionaba linealmente con el número de hojas, en especial cuando se incluían las de los nietos.

Giulivo et al. (1984) encontraron en experiencias realizadas con *Vitis vinifera* L. en condiciones de agua no limitante, que la presencia de sumideros, tanto vegetativos como reproductivos, modificaba las relaciones hídricas de la vid, ya que los sumideros potenciaban

la deshidratación, inducían un potencial hídrico estable a mediodía y una rehidratación más lenta. También Van Zyl (1987) encontró que cargas en cosecha elevadas aumentaban el consumo de agua, produciéndose estrés hídrico a Ψ_m -64 KPa (42% de agua disponible), lo cual se correspondía con un potencial hídrico foliar base de -315 KPa.

Pitts et al. (1995) realizaron un trabajo sobre programación de riego deficitario en vid de vinificación bajo condiciones de “canopy” controlado, calculando la evapotranspiración potencial del viñedo (ETc) mediante la siguiente fórmula:

Ec.I.2 **ETc = ETo·Kc·Cp·Sm**

Donde:

ETo = ET de referencia

Kc = coeficiente de cultivo

Cp = coeficiente de canopy

Sm = factor de disponibilidad de agua en el suelo

Estos investigadores consideraron que el coeficiente de cultivo había de ser ajustado de acuerdo con el estado de crecimiento del viñedo -que puede variar de un año a otro- y dividieron la campaña en tres segmentos: crecimiento rápido, media estación y final de estación, usando sendas ecuaciones lineales para aproximar la función de Kc (Snyder et al., 1989). El factor de “canopy” (Cp) era especialmente importante en la fórmula si se restringía el desarrollo de la superficie foliar o si se regaba, siendo Cp función del porcentaje de terreno sombreado al mediodía solar durante la mitad de la campaña (Snyder et al., 1989). Asimismo, mediante el factor de disponibilidad de agua en el suelo (Sm) introducían la influencia de la misma en las tasas de la ET del cultivo. En el cálculo de la ET del viñedo propuesto por Riou y Lebon (2000) para modelizar el balance hídrico de la vid, éstos también tuvieron en cuenta los factores mencionados anteriormente. Bravdo y Proebsting (1993) consideran que el factor del “canopy” de la planta no es fácil de evaluar con exactitud, estando sujeto a errores.

4.2 ESTACIONALIDAD DEL CONSUMO

Las necesidades hídricas de la vid varían a lo largo del ciclo, siendo baja la demanda del viñedo tanto al principio como al final de la campaña, y elevada a mitad de estación, cuando coinciden un “canopy” completamente desarrollado con tasas máximas de ETo (Hardie y Considine, 1976; Fűri, 1977; Van Rooyen et al., 1980; Prior y Grieve, 1987; Williams y Grimes, 1987; Mullins et al., 1992). Cerca del desborre, cuando los contenidos de agua en el suelo se aproximan a capacidad de campo, las tasas de ET del viñedo vienen marcadas principalmente por la demanda atmosférica (ETo). Más adelante, al disminuir los contenidos de humedad del suelo y aumentar las resistencias para la absorción de agua, la vid ejerce un

mayor control sobre la transpiración (Smart y Coombe, 1983). Algunos autores han encontrado que en floración-cuajado se produce una desaceleración de la tendencia ascendente de los consumos de agua (Evans et al., 1993; Gómez del Campo, 1998).

Buzin (1957) encontró una distribución anual del consumo de agua en vid consistente en: 1,5% en el período invernal, 10% entre brotación y cuajado, 43,5% de cuajado a envero y 45% entre envero y caída de hoja. En ensayos realizados con plantas de cv. *Tempranillo* en lisímetro, Gómez del Campo (1998) encontró un reparto similar del consumo para el tratamiento no estresado hídricamente, mientras que las plantas sometidas a estrés hídrico consumieron proporcionalmente mayor cantidad de agua en el período brotación-cuajado (tabla I.1). No obstante, en términos absolutos, el consumo de las vides estresadas fue inferior en todo momento de la campaña y especialmente a partir de cuajado (tabla I.2), cuando la demanda atmosférica y la superficie foliar de la planta alcanzaron una magnitud mayor.

Tabla I.1. Distribución estacional del consumo en vides en lisímetro en Madrid, cv. *Tempranillo*, 1995.

Tratamiento	Brotación-Cuajado	Cuajado-Envero	Envero-Maduración	Total (Ucepa)
No estrés hídrico	12,7 %	42,6 %	44,7%	163,9
Estrés hídrico	18,7%	39,7%	41,7%	59,7

Tabla I.2. Consumo diario de vides en lisímetro en Madrid, cv. *Tempranillo*, 1995.

Tratamiento	Brotación-Cuajado	Cuajado-Envero	Envero-Maduración	Total
No estrés hídrico	0,597	1,662	2,092	1,463
Estrés hídrico	0,319	0,564	0,710	0,533

Todos los datos se encuentran expresados en litros por cepa y día.

4.3 EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

El modelo de extracción de agua del viñedo viene condicionado por la distribución de raíces en el terreno, que a su vez se halla afectada por el contenido de humedad del suelo, el sistema de riego y el marco de plantación (Mullins et al., 1992). En las zonas más secas del perfil tiende a ser inferior la densidad de raíces, y por esa misma razón, cuando el sistema de

riego es localizado, y humedece un volumen reducido de suelo, las raíces se distribuyen preferentemente en esa zona. Finalmente, cuanto más próximas se encuentren las cepas en el viñedo, más rápidamente consumirán el agua del suelo (Archer y Strauss, 1989).

Grimes y Williams (1990), en ensayos de dosis de riego desarrollados en California con cv. *Thompson Seedless*, encontraron que en aquéllos tratamientos a los que se aplicaba una dosis de riego inferior al 100% de ETc (40, 60 y 80% ETc), disminuía el contenido de humedad del perfil progresivamente a lo largo de la campaña, a diferencia de los otros dos tratamientos (100 y 120% ETc). En este sentido Williams (1996) obtuvo resultados similares con cepas de *Chardonnay* en el valle de Napa.

McCarthy (1997) constató que durante períodos de déficit de agua en el suelo, las raíces extrajeron agua al menos hasta 200 cm de profundidad, aunque no pudo cuantificar dicho consumo debido a las inexactitudes del sistema de medida empleado. Brown y Sluggett (2000) observaron también que cuando las plantas de vid comenzaban a padecer estrés hídrico, la porción inferior de la zona de raíces aumentaba su actividad y absorción de agua. Además, si había un contenido de humedad adecuado en el subsuelo, cuando la mayoría de la zona de raíces se quedaba sin agua, se producía una transferencia de la misma desde el subsuelo a las capas más superficiales.

Muchas especies frutales son capaces de adaptarse a cambios drásticos en el estado hídrico de sus sistemas radicales (Poni et al., 1992), lo cual permite que mantengan altos niveles de productividad sin que toda su zona de raíces se halle constantemente abastecida de agua (Bielorai, 1982; Moreshet et al., 1983; Bravdo y Proebsting, 1993). Moreshet et al. (1983) encontraron que las raíces en la zona húmeda del suelo de árboles parcialmente regados, contribuía en casi un 90% a la transpiración total de la campaña, mientras que el 10% restante procedía de raíces situadas en suelo más seco. En estudios sobre la absorción de agua por las raíces de plantas de kiwi a través de la monitorización de θ_v mediante TDR, Green y Clothier (1995) encontraron que antes del riego había una amplia correspondencia entre el modelo de absorción de agua y la distribución de la densidad de longitud de raíces. Sin embargo, después del riego se producía una absorción preferente de agua de las partes húmedas del suelo y una reducción del consumo en las zonas más secas del mismo. Tras humedecer de nuevo toda la zona de raíces, las previamente inactivas que se hallaban en el suelo seco podían recuperar rápidamente su actividad. Aunque inicialmente parece que hay una buena correspondencia entre las tasas de absorción en la zona de raíces y la densidad de las mismas cuando ese volumen del suelo se haya bien abastecido de agua, al ir secándose el suelo, las capas profundas comienzan a contribuir en proporción creciente a la absorción total

de la planta, a pesar de la menor densidad de raíces. Las observaciones efectuadas por los mismos autores trabajando con manzanos adultos (Green y Clothier, 1999), se encontraban de acuerdo con los hallazgos previos en kiwi. En ese trabajo los autores también apuntaron que debe haber una considerable variabilidad funcional entre raíces en el manzano.

En definitiva, Green y Clothier (1999) encontraron que el proceso de absorción de agua del suelo por parte de especies frutales es tridimensional, dependiente del tiempo y se halla influido por muchos factores de la planta y el suelo que interaccionan entre sí.

4.4 ESTIMACIONES DEL CONSUMO DE AGUA DE LA VID

Yuste (1995) revisó de forma extensa y resumió los consumos obtenidos por diversos autores en diferentes regiones del mundo y situaciones de cultivo de la vid. Análogamente Gómez del Campo (1998) realizó una amplia revisión bibliográfica sobre las evapotranspiraciones calculadas en numerosos ensayos de riego en vid realizados con plantas en lisímetro.

Williams y Matthews (1990) y McCarthy (1997) señalaron que el consumo de vides maduras en zonas semiáridas del SO de Estados Unidos y de Australia, variaba entre 650 y 800 mm, asegurando estos volúmenes una productividad máxima del viñedo. No obstante, la máxima aplicación de riego efectuada por McCarthy (1997) a cepas de cv. *Shiraz* en Waikerie (Australia) fue de 600 mm. Este autor atribuyó el menor consumo de sus vides al vigor y rendimiento más reducidos de las mismas, junto con una programación precisa de la aplicación de agua y a la menor ETo en su zona de ensayo durante el periodo en que desarrolló esta experiencia. Asimismo, en un trabajo experimental de diferentes dosis de riego desarrollado en el Valle de Napa (California) en una plantación de cv. *Chardonnay* a alta densidad y con 4 años de edad, Williams (1996) encontró que el consumo total del viñedo variaba entre 272 mm para el tratamiento al que se aplicaba un 25% de la ET total estimada, y 462 mm para el tratamiento regado con 125% de la ET total. El contenido de agua en el suelo disminuía gradualmente a lo largo de la campaña para aquellos tratamientos de riego que recibían cantidades de agua inferiores a la ET total. El potencial hídrico foliar no fue nunca inferior a $-1,0$ MPa para las cepas que recibieron el 100% ET a lo largo de la estación, mientras que para las del tratamiento 25% fue $-1,45$ MPa justo después de vendimia. Finalmente, tanto g_s como A –medidas a mediodía– disminuyeron a lo largo de la campaña gradualmente para todos los tratamientos que recibían cantidades de ET inferiores al 100%.

Bartolomé (1993) trabajando con cv. *Tempranillo* en Madrid con una precipitación media anual de 355 mm aplicó un promedio de 335 mm mediante riego, correspondientes al 60% de la ETo calculada mediante el tanque evaporimétrico de clase A. En ensayos de campo efectuados en la Ribera del Duero con la misma variedad y empleando también un Kc de 0,6, Yuste (1995) añadió 238 mm mediante riego localizado a los 363 mm de precipitación anual (datos medios de los tres años del ensayo).

CAPITULO II. MATERIAL Y METODOS

1. CARACTERIZACIÓN DEL ENSAYO

Los ensayos se desarrollaron en un viñedo experimental de los campos de prácticas de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid, situado a 595 m de altitud, siendo sus coordenadas geográficas 40° 26' 36' Norte y 3° 44' 18'' Oeste.

Los datos que se analizan corresponden a tres años de experimentación: 1996, 1997 y 1998.

Las cepas del ensayo se plantaron en 1990 a un marco de 2 × 1,2 m. (anchura de la calle × distancia entre cepas), con filas orientadas Norte-Sur y son de la variedad Tempranillo injertada sobre Richter-110. El sistema de formación fue en cordón Royat doble, de 0,6 m de altura de tronco y podado a pulgares de dos yemas vistas. La conducción de los pámpanos fue vertical en espaldera, desarrollando un 'canopy' de unos 115-130 cm de altura.

Se aplicaron operaciones de poda en verde cada campaña para ajustar el número de brotes que vegetaron al número de yemas dejadas en la poda de invierno para cada tratamiento.

Todas las técnicas de cultivo (abonado, tratamientos fitosanitarios, mantenimiento del suelo, etc.) se aplicaron por igual a todos los tratamientos. El mantenimiento del suelo se realizó con herbicidas tanto en la línea como en la calle.

1.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

Los datos climáticos de los años correspondientes a este estudio (**tablas II.1-3**) proceden de la estación meteorológica situada en los mismo campos de prácticas de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid, donde se ubica el viñedo. Asimismo, se presentan en la **tabla II.4** los datos medios de 30 años correspondientes a la estación de Cuatro Vientos, a 6 km del viñedo del ensayo.

El cálculo de la precipitación efectiva (Pe), después de consultar diversos autores (Coombe y Dry, 1992; Vaysse et al., 1990; FAO, 1990) se realizó según los siguientes criterios:

- Una lluvia aislada de menos de 7 mm se consideró no efectiva.
- Una lluvia aislada de 7-12 mm se consideró efectiva en un 50 %.
- Una lluvia aislada de más de 12 mm se consideró efectiva al 100%.
- Lluvias continuas de más de 7 mm se consideraron efectivas al 100% exceptuando los primeros 7 mm.

Tabla II.1. Características meteorológicas del año 1996. Estación Meteorológica de los Campos de Prácticas de la E.T.S.I. Agrónomos de Madrid (Ciudad Universitaria).

	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>AÑO</i>
Tmax	10,7	11,5	15,2	19,7	21,5	30,3	32,4	32,4	25,0	21,6	15,2	10,2	20,5
tmin	3,5	-0,8	1,8	4,7	7,4	12,8	14,6	13,3	9,1	4,8	2,4	2,3	6,3
tm	7,0	4,9	8,4	12,3	14,5	21,8	23,7	22,0	16,5	12,4	8,1	6,0	13,1
GDD	-	-	-	75,9	141,5	353,2	411,4	372,3	195,1	78,2	-	-	1627,6
HR	92	64	64	55	63	27	17	25	47	56	72	92	56
H.S.	2,5	6,0	7,0	8,7	9,2	10,7	10,1	9,4	8,0	6,9	4,4	2,2	7,1
P	144,2	23,6	20	8,6	103	3,8	2,2	0	45,4	16,4	89,2	187,2	643,6
Pe	121,2	14,2	6,0	2,5	92,9	0	0	0	33,8	16,4	85,2	163,9	536,1
ETo	18,2	39,7	64,1	95,1	114,7	152,6	153,4	133,9	85,6	54,6	27,6	14,3	953,6

Tmax: temperatura media de máximas (°C); *tmin*: temperatura media de mínimas (°C);
tm: temperatura media (°C); GDD ('growing degree days'): integral térmica eficaz (base 10°C);
HR: humedad relativa media (%); *H.S.*: número medio de horas de sol diarias;
P: precipitación (mm); *Pe*: precipitación efectiva (mm);
ETo: evapotranspiración de referencia (mm), según el método de FAO Penman-Monteith (FAO, 1990)

Tabla II.2. Características meteorológicas del año 1997. Estación Meteorológica de los Campos de Prácticas de la E.T.S.I. Agrónomos de Madrid (Ciudad Universitaria).

	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>AÑO</i>
Tmax	10,0	16,2	22,3	22,2	22,7	25,8	30,9	31,4	29	23,0	12,8	10,1	21,4
tmin	1,2	0,2	0,6	6,2	9,6	13,4	16,0	15,1	12	8,7	5,2	2,2	7,5
tm	5,4	7,3	10,8	14,2	16,3	19,6	23,4	23,1	19,9	15	8,5	4,9	14,0
GDD	-	-	-	126,4	196,2	288,5	416,2	404,5	295,8	164,8	-	-	1892,3
HR	86,5	85,7	89,5	93,5	76,6	58,8	53,7	52,7	60,3	71,1	86,6	77,2	74,4
H.S.	2,7	6,3	8,5	8,2	9,1	9,8	9,8	9,1	8,4	6,7	2,9	2,2	7,0
P	85,4	0,2	0,0	53,4	59,8	15,8	35,4	28,2	26,2	13,2	267,8	66,0	651,4
Pe	74,6	0	0	44,9	49,5	10,1	14,6	18,8	20,2	3,7	253,5	44,4	534,3
Eto	18,8	33,1	70,8	90,0	117,2	137,6	149,5	131,7	93	56,4	22,5	16,2	936,8

Tmax: temperatura media de máximas (°C); *tmin*: temperatura media de mínimas (°C);
tm: temperatura media (°C); GDD ('growing degree days'): integral térmica eficaz (base 10°C);
HR: humedad relativa media (%); *H.S.*: número medio de horas de sol diarias;
P: precipitación (mm); *Pe*: precipitación efectiva (mm);
Eto: evapotranspiración de referencia (mm), según el método de FAO Penman-Monteith (FAO, 1990)

Tabla II.3. Características meteorológicas del año 1998. Estación Meteorológica de los Campos de Prácticas de la E.T.S.I. Agrónomos de Madrid (Ciudad Universitaria).

	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>AÑO</i>
Tmax	10,9	15,1	19,6	16,0	21,3	29,1	34,0	34,0	26,2	20,8	15,4	11,8	21,2
tmin	1,1	1,4	1,7	3,9	8,1	11,8	14,5	14,3	11,7	3,9	0,5	-5	5,7
tm	5,6	7,3	10,1	9,7	14,2	20,6	24,4	23,7	18,7	11,2	7,2	2,1	12,9
GDD	-	-	-	33,3	132,4	319,1	432,7	424,4	259,9	49,7	-	-	1651,5
HR	82,7	78,3	63,7	69,1	71,8	56,8	41,7	47,4	62,5	74,4	76,4	78,1	66,9
H.S.	2,7	5,5	7,6	8,2	8,8	10,6	10,5	9,2	7,6	6,7	4,7	3,9	7,2
P	52,4	58	27,8	39,6	186	27,6	0	43,4	86,4	13,2	32,4	29,8	596,6
Pe	36	52,6	27,4	12	183,8	25	0	38,4	82,6	6,2	27,9	24,2	516,1
Eto	19,7	30,8	69,4	83,3	111,8	141,6	156,8	132,1	90,0	47,5	25,1	15,4	923,6

Tmax: temperatura media de máximas (°C); *tmin*: temperatura media de mínimas (°C);
tm: temperatura media (°C); GDD ('growing degree days'): integral térmica eficaz (base 10°C);
HR: humedad relativa media (%); *H.S.*: número medio de horas de sol diarias;
P: precipitación (mm); *Pe*: precipitación efectiva (mm);
Eto: evapotranspiración de referencia (mm), según el método de FAO Penman-Monteith (FAO, 1990)

Tabla II.4. Características climáticas de Madrid. Estación Meteorológica de Cuatro Vientos (Año medio: 1961-1990)

	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>AÑO</i>
Tmax	9,8	11,6	14,7	17	21,9	27,5	32	31,4	27	20,3	13,5	10	19,7
tmin	1,3	2,3	3,8	6	9,5	13,8	17,2	16,7	13,8	9	4,5	1,9	8,3
tm	5,6	6,9	9,3	11,5	15,7	20,6	24,6	24	20,4	14,6	9	6	14,02
HR	76	71	61	60	55	49	41	42	53	66	73	77	60
H.S.	4,9	5,8	6,6	7,5	9,3	10,3	11,7	10,8	8,2	6,8	5,2	4,5	7,6
P	47,3	46,4	34,3	53,8	42,2	26,3	14,6	11,7	26,8	43,3	62	53,8	462,6
Pe	42,9	42,1	31,9	48	38,7	24,9	14,2	11,4	25,4	39,6	54,3	48	421,4
ETo	1,02	1,6	2,57	3,39	4,56	5,67	6,73	6,12	4,27	2,59	1,41	0,96	1248

Tmax: temperatura media de máximas (°C); *tmin*: temperatura media de mínimas (°C);
tm: temperatura media (°C); GDD ('growing degree days'): integral térmica eficaz (base 10°C);
HR: humedad relativa media (%); *H.S.*: número medio de horas de sol diarias;
P: precipitación (mm); *Pe*: precipitación efectiva (mm);
ETo: evapotranspiración de referencia (mm), según el método de FAO Penman-Monteith (FAO, 1990)
DURACIÓN DEL PERÍODO ACTIVO (*tm* > 10°C): 25.III a 10.XI (230 días)
GDD ('growing degree days') : integral térmica eficaz (base 10°C) (Amerine y Winkler, 1944)
ÍNDICE HELIOTÉRMICO DE HUGLIN (Huglin, 1978): 2394.25

1.2 CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS

Las características físicas y químicas del suelo donde se encuentra el viñedo experimental se detallan en la **tabla II.5**. En la misma se recoge la descripción de los horizontes del perfil del suelo desde la superficie hasta 1,1 m de profundidad, su clasificación según el método USDA (1998) (orden Entisoles, grupo Arent), así como el análisis textural, el contenido en materia orgánica, la conductividad eléctrica, pH, contenidos en calizas total y activa, cationes extraíbles y capacidad de intercambio catiónico. No hay limitaciones edáficas físicas ni químicas, ni existe gradiente alguno por el cual se viera beneficiado o perjudicado algún tratamiento.

En la **figura II.1** se representan las curvas características de humedad para tres intervalos de profundidad de suelo y en la **figura II.2** la del conjunto del perfil (como media de sus horizontes). La relación del contenido de agua del suelo (como porcentaje respecto a peso seco del suelo, θ_g) y el potencial matricial se determinó mediante la cámara de presión de Richards (1965).

La densidad aparente del perfil es $1,4 \text{ g/cm}^3$, y de acuerdo con ella y con la proporción de elementos gruesos media, podemos hacer la conversión entre el contenido en agua del suelo expresado en porcentaje de volumen (θ_v) y en porcentaje de peso seco (θ_g):

$$\text{Ec.II.1,} \quad \theta_v = \theta_g \cdot da \cdot (1 - eg) = \theta_g \cdot 1,4 \cdot (1 - 0,1431) = \theta_g \cdot 1,2$$

Siendo:

θ_v : contenido en agua del suelo en porcentaje de volumen

θ_g : contenido en agua del suelo porcentaje de peso seco

da: densidad aparente (g cm^{-3})

eg: proporción de elementos gruesos (en tanto por uno)

La capacidad de campo se estimó “*in situ*”, a partir de varias medidas de TDR realizadas en los días siguientes a lluvias abundantes (Kramer y Boyer, 1995) y corresponde a 26,7% de θ_v , contenido en humedad que equivale a unos $-0,024 \text{ MPa}$ de potencial matricial del suelo.

El contenido de agua del perfil a $-1,5 \text{ MPa}$, potencial matricial al que se considera se produce la marchitez (Gardner y Nieman, 1964), es 7,96% (p/p.seco) (**figura II.2**), lo cual equivale – según **ec.II.1** – a 9,55% en v/v. También se ha calculado el agua disponible del perfil, como diferencia entre los contenidos de agua a capacidad de campo y en marchitez permanente y fue 17,15 %(v/v). La profundidad considerada ha sido de 1,1 m, donde se han

efectuado medidas con TDR y constatado que se encuentra la mayoría de raíces. Por tanto, la máxima capacidad de almacenamiento de agua en los 110 cm superiores de perfil es 189 mm (172 mm/m).

Tabla II.5. Características edafológicas

Profundidad (cm)	Horizonte genérico	Clasificación (USDA, 1998)	
		Horizonte de diagnóstico	
0 - 30	Ap	Ochrico	ARENT
30 - 60	Cl	No diagnóstico	
60 - 110	Cl	No diagnóstico	

Prof. (cm)	Elementos gruesos (%)	Textura USDA					Clase textural
		Arena total (%)	Arena gruesa (%)	Arena fina (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	
0 - 30	7,50	72,96	31,4	41,56	14,89	12,15	Franco-arenoso
30 - 60	17,00	76,89	42,0	34,89	13,28	9,83	Franco-arenoso
60 - 110	17,40	82,16	44,62	37,54	9,53	8,31	Arenoso-franco

Prof. (cm)	Materia orgánica (%)	Conductividad eléctrica (dS/m) (1:5)	pH (1:2,5)	Caliza total (%)	Caliza activa (%)
0 - 30	0,31	0,12	8,3	1,31	1,23
30 - 60	0,36	0,15	8,5	6,56	0,85
60 - 110	0,32	0,91	8,3	7,4	2,34

Prof. (cm)	Cationes extraíbles (meq/100 g)				C.I.C (meq/100g)	Fósforo (ppm) Olsen
	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio		
0 - 30	0,47	15,09	7,11	0	20,25	36
30 - 60	0,37	16,1	5,77	0,12	18	47
60 - 110	0,40	20,43	4,07	0,20	15,75	0

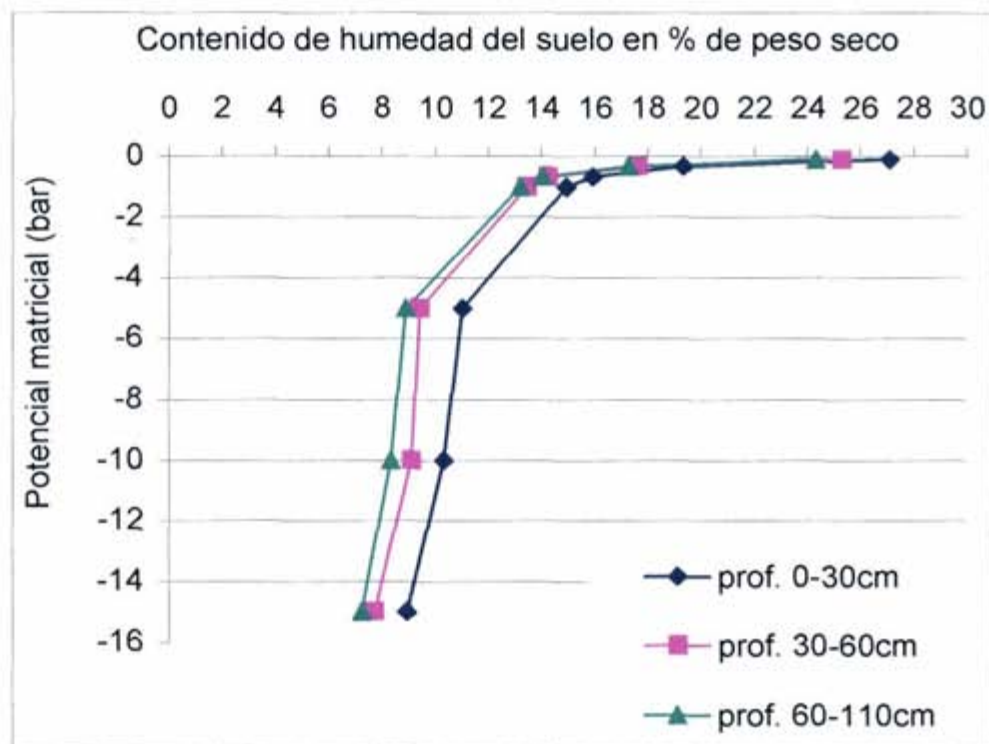


Figura II.1. Curva característica de humedad para tres intervalos de profundidad del suelo de la parcela de ensayo (0-30, 30-60 y 60-110 cm)

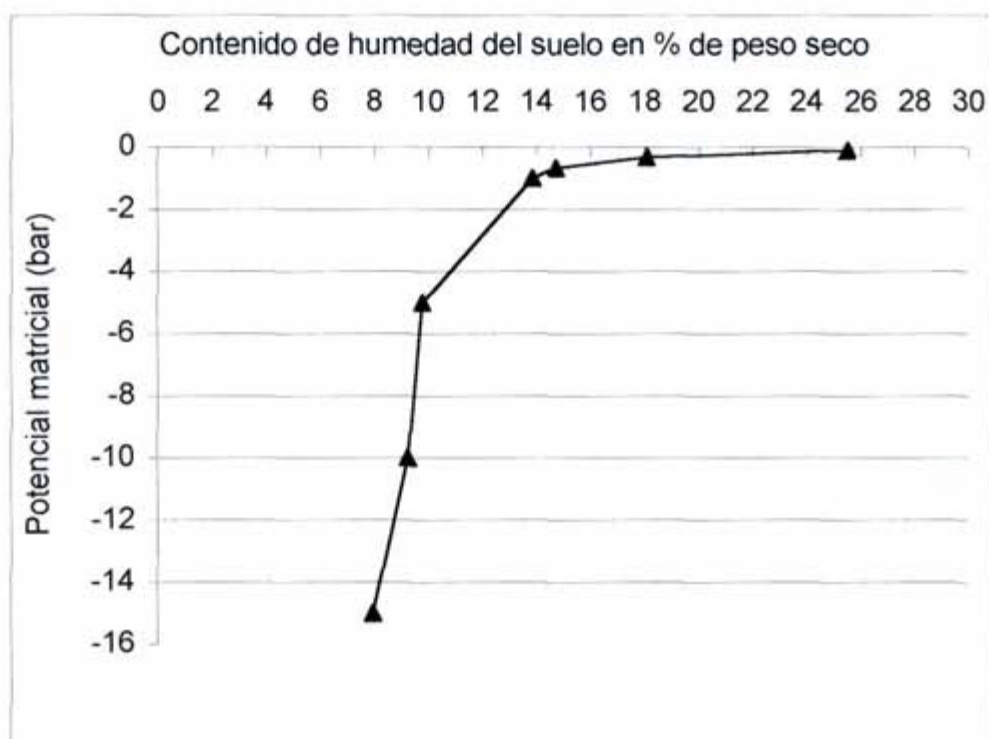


Figura II.2. Curva característica de humedad media del suelo de la parcela de ensayo (0-110cm de profundidad)

1.3 CARACTERÍSTICAS FENOLÓGICAS

Las fechas de los estados fenológicos más representativos aparecen en la **tabla II.6**. Se han obtenido como media del ensayo, cuando más del 50% de las yemas o sus respectivos brotes se encontraban en el estado fenológico correspondiente según la descripción de Eichhorn y Lorenz (1977). La fecha de madurez o vendimia se ha determinado a través del seguimiento semanal de parámetros de composición del mosto desde el envero.

Tabla II.6. Fechas de los estados fenológicos más representativos del ensayo en 1996-98

Año	Desborre (estado 03)*		Floración (estado 23)*		Envero (estado 35)*		Madurez (estado 38)*	
	fecha	Ddlenero	Fecha	Ddlenero	fecha	Ddlenero	Fecha	Ddlenero
1996	24 Marzo	84	30 Mayo	151	9 Agosto	222	2 Octubre	276
1997	26 Marzo	85	16 Mayo	136	24 Julio	205	9 Septiembre	252
1998	3 Abril	93	9 Junio	160	6 Agosto	218	1 Octubre	274

* según Eichhorn y Lorenz (1977).

2. PROTOCOLO EXPERIMENTAL

2.1 TRATAMIENTOS EXPERIMENTALES

El estudio del consumo de agua y las respuestas de la variedad Tempranillo frente a una disponibilidad hídrica deficitaria se ha realizado a través de cuatro tratamientos experimentales (T1, T2, T3 y T4). Éstos se pueden definir como combinación de dos factores: cantidad de agua de riego aportada y número de yemas (por planta o m²) “equilibrado” con esa disponibilidad hídrica (Coombe y Dry, 1992). Este concepto de “poda equilibrada” (“*balanced pruning*”) fue investigado experimentalmente por primera vez por Shaulis y colaboradores en los años ‘40 y tiene como objetivo el adecuar los nudos dejados en la poda con la capacidad de la planta, para mantener así un equilibrio entre el crecimiento vegetativo y la producción de fruta. En nuestro ensayo esa capacidad iba a verse modificada por la aplicación de diferentes volúmenes de agua de riego. Para estimar el número de yemas por planta adecuado para cada tratamiento se efectuó un estudio previo durante los años 1994 y 95 en esa misma parcela, buscando que el peso final de sarmiento y las relaciones kg uva/kg madera poda fueran adecuados y similares entre dotaciones de riego.

De acuerdo con esto se muestra en la **tabla II.7** la caracterización de los tratamientos del ensayo para los tres años del estudio. Las diferentes aportaciones hídricas se determinaron como cantidades proporcionales (Kc) de la evapotranspiración de referencia (ET_o). En concreto: 45, 30, 15 y 0% ET_o , respectivamente para los llamados T1, T2, T3 y T4. En 1998, a partir del envero se redujeron todos los coeficientes un 33% para limitar el crecimiento vegetativo de los anticipados. Según varios autores (Lissarrague, 1997; Kramer y Boyer, 1995) dichos coeficientes supondrían dotaciones de riego deficitarias en vid para los pámpanos/m², LAI y SA que presentaban las plantas del ensayo. La ET_o se calculó mediante la cubeta evaporimétrica de clase A (“United States Weather Bureau”) (Doorenbos y Pruitt, 1977) y fue contrastada con la obtenida indirectamente mediante la fórmula de FAO Penman-Monteith (FAO, 1990). Se consideraron periodos semanales para determinar las cantidades de agua a aplicar, regándose cada semana en función de la ET_o y precipitación efectiva (Pe) totales de la semana previa (**ec. II.2**).

$$R = (K_c \cdot ETo - Pe) \cdot 1,1 \quad \text{Ec. II.2,}$$

siendo:

R : volumen de agua aplicado semanalmente con el riego por unidad de superficie (l/m²)

1,1: coeficiente de eficiencia del sistema de riego.

En las **tablas II.9-11** se muestra para cada año de ensayo, respectivamente, los volúmenes de precipitación efectiva (mm) y agua de riego (mm) en diferentes intervalos entre desborre y vendimia. Los períodos para los que se han hecho esos cálculos coinciden con intervalos de medida de TDR y área foliar, y los valores de la tabla se han empleado para calcular los consumos de agua en los diferentes tratamientos (apartado II.4.5).

En la **tabla II.8** se presentan los valores de precipitación efectiva y *ETo* en dos intervalos del ciclo: entre desborre y comienzo de riego (etapa 1), y desde entonces hasta vendimia (etapa 2). Estos valores se emplearon para calcular los cocientes *K*₁ y *K*₂, que se muestran en la **tabla II.7**, siendo:

$$K_1 = Pe_1 / ETo_1 \quad \text{Ec. II.3,}$$

donde *Pe*₁ y *ETo*₁ son, respectivamente, la precipitación efectiva y evapotranspiración de referencia totales en el período entre desborre y comienzo del riego de la campaña

$$K_2 = (Pe_2 + \text{Volumen de Riego total}) / ETo_2 \quad \text{Ec. II.4,}$$

análogamente desde el comienzo del riego en la campaña hasta vendimia.

El inicio del período de riego ha estado condicionado por la meteorología particular de cada año y por la marcha del desarrollo vegetativo de las cepas. Las fechas de comienzo y fin de riego en 1996-1998 han sido las siguientes:

- 1996: desde el 01/06 hasta el 03/09 (dd1enero: 153-247)
- 1997: desde el 18/06 hasta el 23/09 (dd1enero: 169-266)
- 1998: desde el 07/07 hasta el 24/09 (dd1enero: 188-267)

En los tres tratamientos regados el riego se ha aplicado mediante un sistema localizado con goteros autocompensantes de 3,75 l/h, a razón de uno por planta y situado a unos 50 cm de la misma en la línea, para evitar posibles problemas de humedad en el cuello.

Tabla II.7. Caracterización de los tratamientos del ensayo, años 1996-98.

	1996				1997				1998 ^(*)			
Tratamiento	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Nº yemas/m²	6,88	6,18	5,38	3,88	6,58	6,19	5,08	3,69	6,73	5,69	4,65	3,48
Kc	0,45	0,30	0,15	0	0,45	0,30	0,15	0	0,45	0,30	0,15	0
Riego (l/m²)	229	142	82	0	157	109	53	0	128	87	44	0
Riego/yema (l)	33,3	23,0	15,3	0	23,9	17,6	10,4	0	19,0	15,3	9,5	0

(*) En 1998, a partir del envero se redujeron todos los coeficientes un 33% para limitar el crecimiento vegetativo de los anticipados

		1996				1997				1998			
	Tratamiento	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Etapa 1 ^(*)	Pe/ETo = (K ₁)	0,43				0,35				0,61			
	[K ₁ /yema] · 10²	6,3	7,0	8,0	11,1	5,3	5,6	6,8	9,4	9,0	10,6	13,0	17,4
Etapa 2 ^(*)	(Pe + riego)/ETo = (K ₂)	0,49	0,33	0,22	0,06	0,51	0,38	0,23	0,09	0,72	0,60	0,48	0,35
	[K ₂ /yema] · 10²	7,1	5,3	4,0	1,6	7,8	6,2	4,6	2,4	10,7	10,6	10,2	10,0

(*) etapa 1: desde desborre hasta comienzo de riego
etapa 2: desde comienzo de riego a vendimia

Tabla II.8. Valores de precipitación efectiva y ETo desde desborre hasta comienzo de riego (etapa 1) y desde comienzo de riego a vendimia (etapa 2) en 1996-98.

		1996	1997	1998
Etapa 1	Pe ₁ (mm)	101	105	221
	ETo ₁ (mm)	235	302	365
Etapa 2	Pe ₂ (mm)	33,8	33,4	121
	ETo ₂ (mm)	534	372	346

Tabla II.9. Precipitación efectiva (mm) y agua de riego (mm) en diferentes intervalos, en 1996

dia inicio intervalo	dia final intervalo	Intervalo	Duración del intervalo	Pe	Riego		
					T1	T2	T3
84 (DB)	117	84-116	33	8,5	0	0	0
117	152	117-151	35	92,9	0	0	0
152 (FL)	173	152-172	21	0	64,87	49,31	38,48
173	192	173-191	19	0	35,04	17,32	5,91
192	220	192-219	28	0	69,57	46,26	23,14
220 (EN)	242	220-241	22	0	45,65	29,23	14,57
242	263	242-262	21	28,8	13,66	0	0
263	276 (VD)	263-276	13	5	0	0	0

Tabla II.10. Precipitación efectiva (mm) y agua de riego (mm) en diferentes intervalos, en 1997

Dia inicio intervalo	dia final intervalo	Intervalo	Duración del intervalo	Pe	Riego		
					T1	T2	T3
79 (DB)	119	79-119	41	44,9	0,0	0,0	0,0
120	133	120-133	14	0	0,0	0,0	0,0
134 (FL)	148	134-148	15	36,7	0,0	0,0	0,0
149	162	149-162	14	22,9	0,0	0,0	0,0
163	175	163-175	13	0	12,3	9,6	4,8
176	189	176-189	14	0	30,1	18,5	9,1
190	203	190-203	14	14,6	21,4	16,5	9,5
204 (EN)	218	204-218	15	4,6	20,6	15,7	6,4
219	238	219-238	20	14,2	43,2	29,2	13,1
239	252 (VD)	239-252	13	0	29,6	19,5	9,8

Tabla II.11. Precipitación efectiva (mm) y agua de riego (mm) en diferentes intervalos, en 1998

Dia inicio intervalo	dia final intervalo	Intervalo	Duración del intervalo	Pe	Riego		
					T1	T2	T3
91 (DB)	128	91-127	37	15	0	0	0
128	142	128-141	14	88	0	0	0
142	148	142-147	6	71,2	0	0	0
148	160	148-159	12	46,6	0	0	0
160 (FL)	174	160-173	14	0	0	0	0
174	215	174-214	41	0	62,2	41,5	20,7
215 (EN)	257	215-256	42	38,4	61	41,3	21,1
257	273 (VD)	257-273	16	82,6	4,4	4,4	2,2

2.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

2.2.1 DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El dispositivo experimental general corresponde a un diseño en cuatro bloques al azar. Cada bloque contiene 12 filas de 10 cepas y está separado del siguiente por un pasillo. Cada uno de los 4 tratamientos se aplica en cada bloque a 3 filas contiguas, actuando como bordes las filas laterales así como las dos cepas extremas de la fila central. Sólo las ocho cepas centrales de la fila del medio se emplean para tomar datos. Por ello se descarta cualquier tipo de interferencia entre un tratamiento y otro. Este dispositivo experimental general se ha mantenido para el conjunto del ensayo y ha constituido la base experimental. A continuación se presenta un croquis del ensayo:

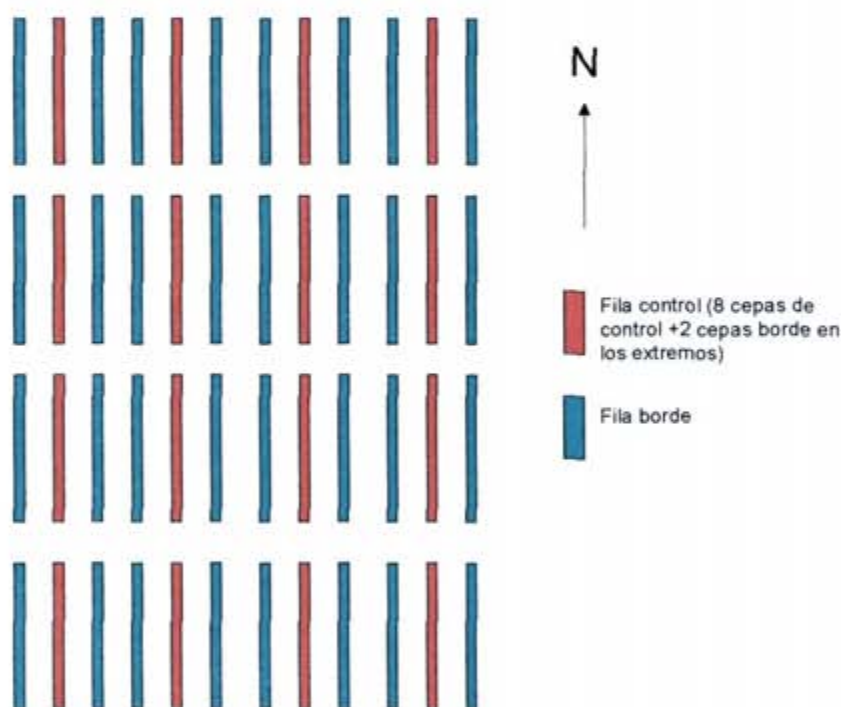


Figura II.3 Diseño experimental de la parcela de ensayo: en 4 bloques completamente al azar

No obstante, algunas partes del estudio han requerido el empleo de parcelas elementales o número de repeticiones diferentes, pero siempre se tomaron las muestras de entre las plantas de control.

2.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En razón al diseño experimental, el análisis estadístico de gran parte de los resultados se ha efectuado mediante análisis de varianza. Siempre que éste mostró efectos significativos de los tratamientos se ha procedido a comparar las medias empleando el test múltiple de Duncan. Para ello se ha utilizado el programa estadístico SPSS, versión 9.0 (SPSS Inc. Headquarters, Chicago, Illinois).

Para testar relaciones entre variables se han efectuado regresiones simples de diverso tipo mediante el programa de cálculo Excel, versión 98 de Microsoft. Se presentan igualmente las ecuaciones, coeficientes de determinación y niveles de significación estadística de dichas curvas en los apartados correspondientes de “Resultados y Discusión”.

Los datos de series temporales se analizaron separadamente para cada fecha de medida.

Para analizar dentro de un mismo tratamiento las diferencias entre dos fechas de la misma campaña, se efectuaron también análisis de varianza.

Finalmente, la significación de los diferentes análisis se ha determinado para alcanzar los siguientes niveles de probabilidad: $P < 5\%$ (*), $P < 1\%$ (**) y $P < 0.1\%$ (***).

3. CARACTERIZACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE LA PLANTA

Se ha llevado a cabo la determinación y análisis tanto de la superficie foliar total de la cepa, representada por el índice LAI, como la de la superficie externa, representada por SA. Las mediciones se realizaron en dos cepas representativas de la fila de control de cada parcela elemental. Por tanto se eligieron al comienzo de cada campaña un total de ocho cepas por tratamiento. Siempre que fue posible se escogieron las más cercanas a las sondas de TDR. En los tres años de estudio, las mediciones para determinar el LAI y la SA se efectuaron en varios estados fenológicos a lo largo de la campaña -y siempre que se realizaron controles fisiología-.

3.1 SUPERFICIE FOLIAR TOTAL (LAI)

El método seguido para calcular el área foliar total fue una modificación del de Carbonneau (1976), midiéndose, en diferentes momentos a lo largo de la campaña, la longitud del nervio central de una de cada tres hojas, tanto en el pámpano principal como en los nietos, sobre un 25% de los pámpanos de las ocho cepas elegidas por tratamiento. En 1996 se estableció la regresión entre la longitud del nervio central de la hoja y su área. Se cogieron para ello 45 hojas de diferentes tamaños, se separó su limbo y se midió el nervio central. Por último se determinó el área de cada limbo con un medidor LI-3100 (LI-COR, Lincoln, Neb.).

Los pámpanos se escogieron y marcaron al principio de cada campaña. En cada fecha de medida se contaron igualmente el número de pámpanos totales de cada una de esas cepas de control.

3.2 SUPERFICIE FOLIAR EXTERNA (SA)

La superficie foliar externa de la cepa representa el área foliar que puede recibir la radiación solar de forma directa. Se considera que está constituida por las caras laterales y la parte superior del “canopy”, pues aunque la radiación reflejada por el suelo puede ser absorbida por la cara inferior del “canopy”, esta contribución es muy pequeña y puede despreciarse (Smart et al., 1985). El índice SA se expresa como m^2 de superficie foliar externa por cada m^2 de superficie de suelo. Mediante operaciones en verde se han dirigido los pámpanos y despuntado convenientemente a lo largo del ciclo para adaptar la geometría de las cepas al modelo medio de una espaldera comercial, es decir un paralelepípedo. En cada cepa

de control se han hecho, en cinco puntos equidistantes del cordón, mediciones de altura y espesor del “canopy” –este último a su vez a tres alturas diferentes para hallar el espesor medio del paralelepípedo-. Haciendo las medias correspondientes, se ha obtenido la altura y espesor medios de cada cepa de control. Además, en aquellas plantas con discontinuidad de vegetación a lo largo del cordón se ha medido la longitud del mismo provista de hojas. El producto del perímetro medio del paralelepípedo (sin tener en cuenta su cara inferior) por la distancia entre cepas (descontados, cuando existan, los claros de vegetación) y dividido por el marco de plantación, es la SA.

4. EVALUACIÓN DEL CONSUMO HÍDRICO.

4.1 CONTENIDO VOLUMÉTRICO DE AGUA EN EL SUELO

El contenido volumétrico de agua en el suelo se determinó por la técnica de TDR (“Time-domain Reflectometry”), con un equipo portátil Modelo No. 6050X1 del sistema Trase, Soilmoisture Equipment Corp. (Santa Barbara, California). Este sistema usa pulsos de onda electromagnéticos en el rango de 1 MHz a 1 GHz (Da Silva et al., 1998), que se envía a lo largo de una línea de transmisión terminada en guías de acero inoxidable paralelas que se encuentran en estrecho contacto con el suelo. Debido a la elevada constante dieléctrica del agua en comparación con el suelo seco y el aire, las ondas se propagan más rápido en medio seco que húmedo. El sistema determina la constante dieléctrica “aparente” como función del tiempo necesario para que las ondas viajen a lo largo de la guía y la longitud de la misma. La relación entre la constante dieléctrica aparente y el porcentaje volumétrico de agua se han establecido bajo condiciones de laboratorio por el fabricante del aparato.

En la primavera de 1996 se instalaron en el suelo de la parcela un total de 64 sondas fijas (16 puntos de la parcela x 4 profundidades) de 20 cm de longitud. Cada sonda estaba conectada a un cable coaxial que salía hasta la superficie, con un conector para realizar las lecturas con el equipo de TDR. En cada una de las 16 repeticiones (4 tratamientos x 4 bloques), las sondas se situaron entre dos cepas de control, a una distancia variable de la línea para conocer la evolución de humedad del volumen total colonizado por las raíces (de las cuatro repeticiones que había por tratamiento, las sondas se situaron en dos de ellas próximas a la línea y en otras dos en el medio de la calle, es decir, a 1 m de la línea de cepas). Las sondas se instalaron centradas en los siguientes intervalos de profundidad: 0-20 cm (prof.1), 20-40 cm (prof.2), 40-70 cm (prof.3) y 70-110 cm (prof.4). Se colocaron además con una cierta inclinación respecto de la superficie del suelo, para que su medida fuera más representativa del intervalo de profundidad (la inclinación fue aproximadamente 30° para prof.1, 45° para prof.2 y 60° para prof.3-4). En 1996 se midió aproximadamente cada tres semanas. En 1997 y 1998 la periodicidad de medida fue de una semana durante la etapa de actividad del cultivo, y una o dos veces al mes durante el resto del año.

Las medidas no se efectuaron en el día en que se producía una lluvia y, de ser intensa o llover en días consecutivos, se esperó un intervalo mayor de días para medir. Análogamente, las lecturas se realizaron en días lo más distanciados posibles de la aplicación del riego.

Se han realizado gráficos de la evolución en el tiempo de la lectura de cada sonda y esto ha servido para corregir algún valor erróneo –gracias a la proximidad de fechas de medida durante el período de actividad de la vid-.

La humedad media de cada perfil se ha calculado a partir de los valores de las distintas sondas del mismo, ponderándolos según la profundidad de suelo que estiman respectivamente, es decir:

$$\theta_v = (20 \cdot \theta_{v1} + 20 \cdot \theta_{v2} + 30 \cdot \theta_{v3} + 40 \cdot \theta_{v4}) / 110 \quad \text{Ec.II.5,}$$

siendo θ_v : contenido medio en humedad del perfil hasta 110cm en % v/v

θ_{vi} : contenido en humedad del horizonte en % v/v a la profundidad i (prof.1: 0-20 cm;

prof.2: 20-40 cm; prof.3: 40-70 cm y prof.4: 70-110 cm)

También se ha determinado –como media de cuatro repeticiones- la humedad para cada intervalo de profundidad y tratamiento.

La capacidad de campo en la parcela se determinó a partir de varias medidas de TDR (ver II.1.2)

Se almacenaron las medidas realizadas y se controló la respuesta de las sondas al riego y la precipitación atmosférica.

4.2 PRECIPITACIÓN EFECTIVA

Se calculó según se ha expuesto en el apartado II.1.1

4.3 DRENAJE

Cuando ocurrieron precipitaciones de cuantía importante se estimó la cantidad de agua perdida por drenaje (D) para no atribuirla al consumo del viñedo. Para ello se efectuó el balance diario de agua del suelo (McCarthy et al., 1992), donde se tuvo en cuenta: la cantidad máxima de agua disponible en la zona de raíces, la disponible cuando se producían las precipitaciones intensas, el consumo diario del viñedo, la lluvia y, en su caso, el riego aplicado. Cuando el agua disponible en el suelo -después de sustraer el consumo diario del viñedo- rebasaba la capacidad máxima de almacenamiento, se atribuyó al drenaje la diferencia entre ambas cantidades. Para efectuar ese cálculo, se estimó el consumo diario a partir del

conocido para fechas próximas en las que no se produjeron precipitaciones importantes y, por tanto, tampoco pérdidas por drenaje.

4.4 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Al ser la parcela muy llana, se ha estimado que la escorrentía superficial es nula.

4.5 CÁLCULO DEL CONSUMO

El cálculo del agua consumida en un intervalo comprendido entre los días “i” y “j”, ET_{ij} (mm), se ha efectuado según la fórmula:

$$ET_{ij} = (\theta_v^{(i)} - \theta_v^{(j)}) \cdot 11 + Pe_{ij} + R_{ij} - D_{ij} \quad \text{Ec. II.6,}$$

siendo $\theta_v^{(i)}$ y $\theta_v^{(j)}$ los contenidos medios de humedad del perfil (expresados en %v/v) en los días “i” y “j”, respectivamente; 11: el factor de conversión de %v/v a mm de agua en los 1.1 m de perfil; Pe_{ij} , R_{ij} y D_{ij} son los volúmenes de precipitación efectiva, riego aplicado y drenaje en ese mismo intervalo (mm).

Los intervalos para los que se presenta el consumo en el presente trabajo, se corresponden en general con los de medida de la superficie foliar del “canopy”.

5. ESTUDIO DE LOS PROCESOS FISIOLÓGICOS

La evaluación de los efectos de los distintos tratamientos experimentales sobre la actividad fisiológica de la variedad Tempranillo, se ha llevado a cabo a través de la medición en hojas individuales (bajo diferentes condiciones de iluminación y momentos del día, así como a lo largo de la estación) de sus condiciones microclimáticas, intercambio de gases con la atmósfera (CO_2 y H_2O) y estado hídrico. Los parámetros estudiados han sido:

- Temperatura de la hoja ($^{\circ}\text{C}$)
- Radiación fotosintéticamente activa, PAR ($\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
- Déficit de presión de vapor entre la hoja y el aire, DPV (mb)
- Conductancia estomática al vapor de agua, g_s ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
- Transpiración, E ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
- Fotosíntesis neta, A ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
- Eficacia intrínseca en el uso del agua al nivel de hoja, definida por la relación entre tasa de fotosíntesis neta y conductancia estomática, $A\cdot g_s^{-1}$
- Potencial hídrico foliar diurno y antes del amanecer, Ψ_f y $\Psi_{a.a}$ (MPa)

5.1 PROCEDIMIENTO DE MEDIDA

Todas las mediciones se han realizado en hojas totalmente desarrolladas, adultas, sanas y de edad similar en cada día de medida, de manera que fueran adecuadas para la comparación de resultados. Las condiciones atmosféricas en las fechas de medida eran representativas de cada época y fase del ciclo, y siempre se eligieron días totalmente despejados de buena iluminación. Las hojas pertenecían a cepas de control.

El procedimiento seguido en cada una de las medidas realizadas ha sido el siguiente:

- 1°. Selección cuidadosa y etiquetado de las hojas a medir.
- 2°. Medida con porómetro de condiciones microclimáticas (radiación PAR incidente, temperatura de la hoja, humedad relativa del ambiente), conductancia estomática y transpiración.
- 3°. Medida con IRGA de la asimilación neta de CO₂, déficit de presión de vapor y temperatura del ambiente.
- 4°. Separación de la hoja y determinación inmediata de su estado hídrico, a través del potencial hídrico foliar.

En cada uno de los intervalos de medida se efectuó el procedimiento completo al conjunto de los tratamientos. El tiempo aproximado de cada conjunto de medidas en la parcela fue de una hora, y los datos se refieren a la hora central del intervalo.

En parte de los días de medida las mediciones se efectuaron solamente entorno a las 9 hs y en la cara Este de la espaldera. Este tipo de medición se ha denominado como “máxima”, por producirse habitualmente a esa hora en nuestras condiciones la tasa máxima de fotosíntesis neta. En otras fechas se efectuaron “seguimientos” diarios de los parámetros anteriormente mencionados, realizando mediciones en 6 intervalos a lo largo del día entorno a las: 6, 9, 12, 15 y 18 hs. En el año 1996 se hicieron las mediciones siempre en la cara más iluminada de la espaldera, determinando así la fotosíntesis máxima que se producía en cada

hora de medida. En 1997 y 1998, sin embargo, en los días en que se efectuó “seguimiento” se midieron hojas a ambos lados de la espaldera a cada hora. Tanto en la determinación de “máximas” como en los “seguimientos” diarios, para no desfasar las mediciones en más de 30 minutos respecto de la hora central –lo cual generaría una gran variabilidad entre los datos, debido al cambio en las condiciones del medio y de la planta-, se hicieron los recorridos solamente en dos de los bloques del ensayo, en general los situados más al sur (**figura II.3**). Sin embargo, para las medidas de potencial foliar antes del amanecer se tomó igual número de muestras en cada parcela elemental del ensayo.

En la **tabla II.12** se presenta de forma resumida, para los tres años, las características de las mediciones fisiológicas realizadas en cuanto a: horas en que se efectuaron, cara de la espaldera, número de hojas muestreadas y fechas. Además de las horas mencionadas en dicha tabla, el potencial hídrico foliar se midió siempre antes del amanecer en cada día de medida, muestreándose: 6 u 8 hojas/tratamiento en 1996, 4 en 1997 y 4 u 8 en 1998.

Tabla II.12 Características de las mediciones fisiológicas

Año	Fecha	DdIenero	Tipo de medida	Horas de medida (hs)	Cara de la espaldera	Nº Hojas medidas por Tratamiento y Cara de la espaldera
1996	31 May.	152	Máxima(*)	9	Este	8
	26 Jun.	178	Seguimiento	6, 9, 12, 15, 18	La más iluminada	8
	12 Jul.	193	Máxima	9	Este	8
	6 Ago.	219	Máxima	9	Este	8
	29 Ago.	242	Seguimiento	6, 9, 12, 15, 18	La más iluminada	8
	27 Sep.	271	Máxima		Este	8

(*) Sólo $\psi_{a.a.}$ y ψ_f

Año	Fecha	DdIenero	Tipo de medida	Horas de medida (hs)	Cara de la espaldera	Nº Hojas medidas por Tratamiento y Cara de la espaldera
1997	22 May.	142	Máxima	9	Este	6
	23 Jun.	174	Seguimiento	6, 9, 12, 15, 18	Este y Oeste	4
	7 Jul.	188	Máxima	9	Este	6
	24 Jul.	205	Máxima	9	Este	6
	31 Jul.	212	Seguimiento	6, 9, 12, 15, 18	Este y Oeste	4
	14 Ago.	226	Máxima	9	Este	6
	27 Ago.	239	Seguimiento	6, 9, 12, 15, 17.5	Este y Oeste	4
	9 Sep.	252	Máxima	9	Este	6

<i>Año</i>	<i>Fecha</i>	<i>DdIenero</i>	<i>Tipo de medida</i>	<i>Horas de medida</i>	<i>Cara de la espaldera</i>	<i>Nº Hojas medidas por Tratamiento y Cara de la espaldera</i>
1998	20 May.	140	Máxima	9	Este	6
	10 Jun.	162	Máxima	9	Este	6
	26 Jun.	177	Seguimiento	6, 9, 12, 15, 18	Este y Oeste	4
	31 Jul.	211	Máxima	9	Este	6
	9 Sep.	252	Seguimiento	6, 9, 12, 15, 18	Este y Oeste	4

(**)En esta fecha también se midió el potencial hídrico del tallo.

5.2 ASIMILACIÓN NETA DE CO₂, A (μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹)

El aparato empleado para esta medida fue un analizador de gases por infrarrojo (IRGA) portátil, de la casa LI-COR (LI-6200). Este IRGA es de circuito cerrado, con una cámara de 1 litro y realiza la medida en un intervalo de 30 s - una vez estabilizadas las condiciones dentro de la cámara -.

5.3 TRANSPIRACIÓN Y CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA (mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹)

Se han medido mediante un porómetro de flujo continuo LI-1600, también llamado de balance nulo o de estado estacionario, cuyo funcionamiento consiste en hacer circular aire seco con una tasa creciente hacia la cámara ventilada colocada bajo la superficie de la hoja, hasta que se alcanza una humedad relativa constante. En este punto, el incremento en la humedad relativo dentro de la cámara debido a la transpiración es equilibrado por el flujo de aire seco. La conductancia estomática (g_s) se calcula directamente a partir del flujo (f), del área de la hoja dentro de la cámara (a) y de la humedad relativa (hr):

$$g_s = (f/a) \cdot hr/(1-hr)$$

Este aparato proporciona además los valores de radiación PAR incidente sobre la hoja, temperatura de la misma y humedad relativa del ambiente.

5.4 ESTADO HÍDRICO DE LA PLANTA, Ψ_f y $\Psi_{a.a}$ (MPa).

La evaluación del estado hídrico se realizó mediante la medida del potencial hídrico foliar en las fechas y horas indicadas en el apartado 5.1. Las mediciones se han efectuado mediante una cámara de presión tipo Scholander (Scholander et al., 1965), modelo 3000 de Soil Moisture Equipment Corporation.

5.5 INTEGRAL DE ESTRÉS,

Para cada uno de los años del ensayo se determinó la integral de estrés hídrico entre floración y vendimia. Este parámetro, definido por Myers (1988), expresa la intensidad y duración del estrés respecto de un mínimo en un período determinado. Se calcula mediante la fórmula:

$$S_{\psi} = [\sum_{i=0,t} (c - \Psi_{i, i+1}) \cdot n] \text{ (MPa} \cdot \text{día)}$$

donde:

c: valor máximo del potencial hídrico foliar antes del amanecer medido en todos los tratamientos durante el periodo de estudio considerado

$\Psi_{i, i+1}$: potencial foliar medio antes del amanecer en un intervalo de días [i, i+1]

n: número de días del intervalo.

Los diferentes términos del sumatorio corresponden a los intervalos de tiempo entre medidas consecutivas de potencial hídrico foliar antes del amanecer (ver **tabla II.12**).

6. EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD

6.1 EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE COSECHA

En el momento de la vendimia, en cada una de las cepas que componían las parcelas elementales se contó el número de racimos y se determinó su producción de uva mediante pesada en una báscula mecánica de 60 kg de pesada máxima y 10 g de sensibilidad. Posteriormente se ha calculado el rendimiento medio de las ocho cepas de la repetición. La vendimia de cada planta era llevada en cajas de 20 kg de capacidad, previamente taradas, hasta el lugar donde se situaba la báscula.

6.1.1 PESO MEDIO DE LA BAYA

El peso medio de la baya se halló a partir del muestreo de 100 bayas por parcela elemental, tomadas aleatoriamente de entre todos los racimos de las cepas y posiciones dentro del racimo.

Las 100 bayas se introducían en una bolsa de plástico etiquetada, la cual se colocaba en una nevera portátil para su traslado hasta el laboratorio. Allí se pesaban en una balanza COBOS S.A. modelo C-600-SX de 0,01 g de sensibilidad, expresando el resultado en gramos por 100 bayas.

De estas mismas bayas se extraía el mosto para su posterior análisis.

6.1.2 PESO MEDIO DEL RACIMO

El peso medio del racimo de cada repetición se calcula como media de los pesos medios de racimo de cada una de las cepas de control. Éste resulta del cociente entre el peso de la cosecha en cada cepa y el número de racimos de la misma.

6.1.3 NÚMERO MEDIO DE BAYAS POR RACIMO

Para cada una de las parcelas elementales el número de bayas por racimo se obtiene a través del cociente entre el peso medio del racimo y el peso medio de la baya.

6.2 EVALUACIÓN DEL DESARROLLO VEGETATIVO

6.2.1 PESO DE LA MADERA DE PODA

En el momento de la poda se evaluó el desarrollo vegetativo. Para cada cepa de control de la parcela elemental se contó el número de sarmientos desarrollados y se pesaron. Posteriormente se determinó la media para la repetición. Se empleó un dinamómetro SK de pesada máxima 5 kg y 50 g de sensibilidad. El peso de madera de poda se expresa en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ y $\text{kg}\cdot\text{cepa}^{-1}$. Asimismo, se calculó el peso medio del sarmiento de cada parcela elemental como promedio de los pesos medios por sarmiento de cada una de las cepas de control que pertenecían a dicha parcela elemental.

6.2.2 ÍNDICE DE RAVAZ

El índice de Ravaz expresa la relación entre el rendimiento de la cosecha ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) y el peso de la madera de poda ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$). Éste ha sido calculado en todas las cepas de control del ensayo y, posteriormente, se han hecho las medias para el conjunto de cada repetición.

6.2.3 RELACIÓN ENTRE EL DESARROLLO FOLIAR Y LA PRODUCCIÓN

Las relaciones entre la superficie foliar, ya sea total o externa, y la cosecha, se ha determinado en las plantas en que se efectuaron las medidas de LAI y SA. Se ha realizado el cociente entre la superficie foliar media durante el período envero-vendimia correspondiente a cada cepa y su producción de cosecha.

7. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL MOSTO

Los parámetros de referencia de la calidad del mosto han sido: sólidos solubles totales (°Brix), acidez total ($\text{g ácido tartárico} \cdot \text{l}^{-1}$) y pH del mosto.

El mosto se obtiene a partir del muestreo de 100 bayas por parcela elemental, realizado con periodicidad semanal desde el envero. Tras pesar las 100 bayas intactas se extrae el mosto manualmente, con un pasapurés. A continuación se vierte el mosto en una probeta donde se mide el volumen que ocupa. De ahí se vierte a unos tubos de centrifuga para su centrifugación durante 2 minutos a 3000 r.p.m, al cabo de los cuales se recoge el sobrenadante en una probeta para realizar las determinaciones analíticas.

7.1 DETERMINACIÓN DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (°Brix)

Los azúcares se han medido por refractometría en un refractómetro de mesa tipo ABBE (Zeiss), provisto de circuito refrigerante por agua -para regular la temperatura-, y de termómetro para traducir la lectura, en caso de ser necesario, a condiciones de 20°C. Se efectuaron dos lecturas del °Brix por muestra de mosto.

7.2 DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ TOTAL ($\text{g ácido tartárico} \cdot \text{l}^{-1}$)

La acidez total se ha determinando mediante una neutralización volumétrica con sosa 0,1N hasta pH 8,2, según la recomendación de Ough y Amerine (1988).

Se ha usado un pH-metro (micropH 2001, CRISON) para control del pH durante la valoración.

7.3 DETERMINACIÓN DEL PH

El pH se ha determinado con el mismo pH-metro anteriormente mencionado.

CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. CARACTERIZACIÓN DE LA SUPERFICIE FOLIAR

1.1 SUPERFICIE FOLIAR TOTAL

Se ha determinado para los años 1996-98 la evolución a lo largo de la campaña del área foliar total (**figuras III.1-3**) de los diferentes tratamientos, y su desglose en área foliar de principal (**figuras III.4-6**) y de nietos (**figuras III.7-9**). Dichos valores se presentan relativizados a la superficie de terreno ocupada por las cepas (índice de área foliar, LAI). Siendo la densidad de plantación y estructuras del sistema de conducción iguales para todos los tratamientos, las diferencias en LAI entre los mismos vienen explicadas por la carga en yemas y disponibilidad hídrica de cada uno. Asimismo, a través de diversas representaciones gráficas (**figuras III.10-13**), se ha estudiado la influencia hasta fecha de floración de la integral térmica eficaz (GDD) y del número de nudos retenidos en la poda sobre el área foliar media del pámpano y sobre el LAI de los cuatro tratamientos experimentales.

En cuanto al área foliar media por pámpano en **floración**, ésta fue similar cada año para los distintos tratamientos, presentando una relación lineal altamente significativa con los GDD acumulados desde desborre (**figura III.10**). Williams, et al. (1985), trabajando con cv. “Thompson Seedless”, encontraron una relación del mismo tipo hasta que comenzaba el crecimiento rápido de la baya.

Como hasta floración los tratamientos se diferenciaron únicamente en el número de brotes por planta (apartado 2.1. de Material y Métodos), sus LAI respectivos en dicho estado fenológico fueron proporcionales cada año a la densidad de pámpanos característica del tratamiento, como se pone de manifiesto en la **figura III.11**. Evidentemente, cuando los pámpanos alcanzaron mayores desarrollos individuales en floración, como sucedió en 1998, resultaron más acusadas las diferencias absolutas en LAI entre los distintos tratamientos.

Factores diferentes a la integral térmica eficaz (GDD) influyeron en la evolución del área foliar por pámpano entre desborre y floración, como se puede observar en la **figura III.12**, que representa, para los diferentes tratamientos, el desarrollo del área foliar por pámpano en función de GDD en distintos momentos entre desborre y floración de las tres campañas de ensayo. En la misma se aprecia –y estadísticamente se ha comprobado– que las pendientes de las rectas de regresión para los años ‘97 y ‘98, así como los coeficientes de determinación son similares, sin embargo, el punto de corte con el eje de abscisas es

significativamente distinto (77,1 GDD para 1997 y 10,4 GDD para 1998). En este sentido, Williams, et al. (1994) apuntan que períodos de niebla, nubes o viento, que pueden no afectar las temperaturas máxima y mínima diaria (y por tanto a la integral térmica, GDD), sí que influyen el crecimiento de la vid.

Para estudiar la influencia del número de yemas dejadas en la poda en la evolución del LAI entre desborre y floración, se escogieron las mediciones efectuadas en 1998 (**figura III.13**) por dos razones: en primer lugar, porque las frecuentes y cuantiosas precipitaciones ocurridas durante dicha primavera aseguran que la disponibilidad de agua en el suelo no condicionó la elongación de los pámpanos en ninguno de los tratamientos y, en segundo lugar, porque se dispone de más de dos mediciones para dicho período, a diferencia de 1996 y '97. En el **gráfico III.13** se aprecia que el desarrollo del *canopy* fue más rápido para aquellas plantas a las que se dejó mayor carga de yemas en la poda. Esto implicaría que, una vez que los pámpanos dejan de ser “parásitos” (Buttrose (1966) encontró que eso sucedía cuando el área foliar del brote alcanzaba los 50 cm²), las cepas con mayor número de tallos en crecimiento presentarían una mayor capacidad para aprovechar la radiación solar y asimilar CO₂. Además, ese mayor desarrollo del área foliar no supondría necesariamente una merma superior de la reserva hídrica del suelo durante primavera y principios del verano, puesto que en las condiciones climáticas de tipo mediterráneo en la zona del ensayo, muchos años (por ejemplo 1996 y 1998) las precipitaciones primaverales son muy elevadas y rebasan la capacidad de reserva del volumen de suelo ocupado por las raíces (**figuras III. 17 y III.19**).

Como se desprende de las **figuras III.1-3**, el LAI aumentó de forma importante para todos los tratamientos hasta aproximadamente tres meses después del desborre, es decir, hasta finales de junio.

El LAI máximo se alcanzó, en los años '97 y '98 en enero, y en el '96 algo antes, probablemente debido a la mayor severidad de las operaciones en verde (desniete y despunte) efectuadas poco después de producirse ese máximo.

La superficie foliar máxima desarrollada en el secano (1,99, 2,40 y 2,44 m² hojas/m² suelo en 1996, 1997 y 1998, respectivamente) fue siempre significativamente inferior que la de los tratamientos regados (entre 2,68 y 3,24 m² hojas/m² suelo). Los regímenes de precipitación explican que el índice de área foliar máximo del T4 en el '96 fuera un 20% inferior al de los dos años siguientes. Así, en el '96 no llovió desde 10 días antes de floración hasta mitad de maduración y los nietos contribuyeron con 1,04 m²/m² al LAI. Sin embargo, en el '97, con 71 mm entre floración y enero y, en el '98, con elevadas precipitaciones en mayo y junio, los anticipados representaron 1,48 y 1,39 m²/m², respectivamente. Los tratamientos

regados no presentaron siempre diferencias significativas entre sí en su LAI máximo, a pesar de su diferente número de pámpanos por cepa y dotación hídrica, debido al papel compensador jugado por la reserva de agua del suelo y por las precipitaciones desde desborre (**tablas II.1-3**). Así, hasta que se comenzó a regar cada año -siempre después de floración-, la mayor disponibilidad de agua por pámpano en los tratamientos con menor carga en yemas (**tabla II.7**) dio lugar a tallos más vigorosos, con mayor superficie foliar, que en algunos casos compensaron el menor número de los mismos por cepa.

Las **figuras III.4-6** nos muestran que la superficie foliar desarrollada por los pámpanos **principales** finalizó su crecimiento antes que el área foliar total, debido a la importante contribución de los nietos (**figuras III.7-9**), cuya expansión prosiguió hasta el envero. En gran medida, el final del desarrollo del pámpano principal se debió a los despuntes realizados con objeto de ajustar su tamaño a las dimensiones de las estructuras de conducción.

Con relación a la contribución a lo largo de la campaña de los **nietos** en el LAI total, en floración fue poco relevante – sobre todo en el año ‘96 – debido a la inhibición ejercida por el ápice de los principales, dado que aún no se había realizado despunte alguno. Más adelante, en envero, los anticipados supusieron algo más del 40% del LAI para T1 y T2, y más del 50% para T3 y T4, variando poco esas proporciones a lo largo del período de maduración (porcentajes obtenidos a partir de las **figuras III.1-3** y **III.7-9**).

Al contrastar las áreas foliares de los tres años (**figuras III.1-3**) destaca, por otra parte, que hasta pasado el envero las medias por tratamiento se encuentran mucho más agrupadas en el ‘97 que en las otras dos campañas. No sucede así con el desarrollo foliar del principal. Y es que la lluvia caída en el intervalo floración-envero del ‘97 permitió que incrementara el área foliar de nietos más para aquellos tratamientos con menor desarrollo foliar en principales (T3 y T4), aproximándose, por tanto, la suma de ambos para los diferentes tratamientos experimentales.

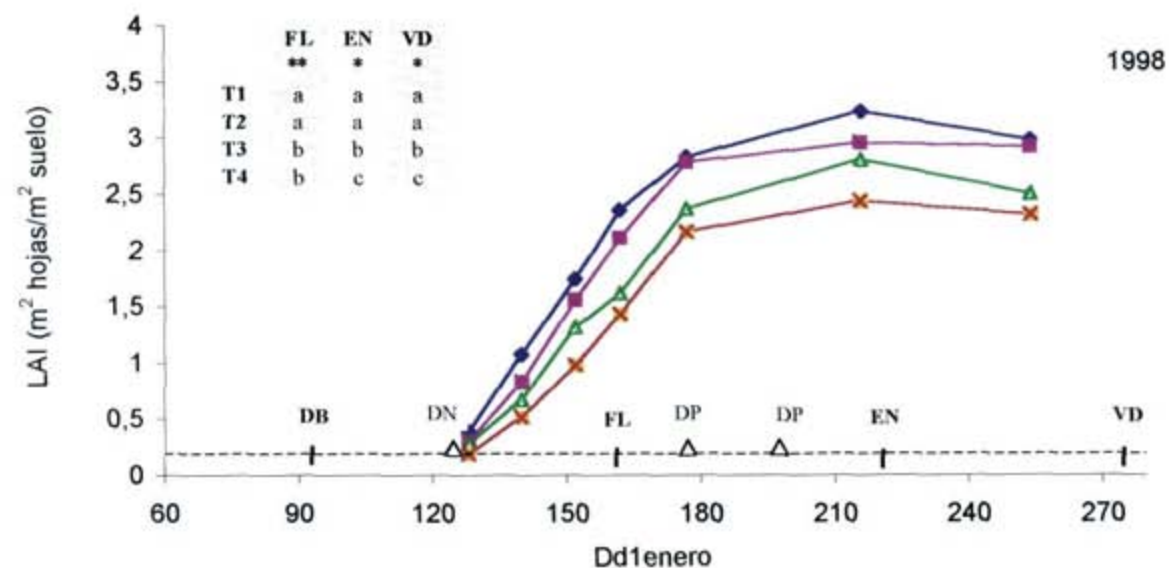
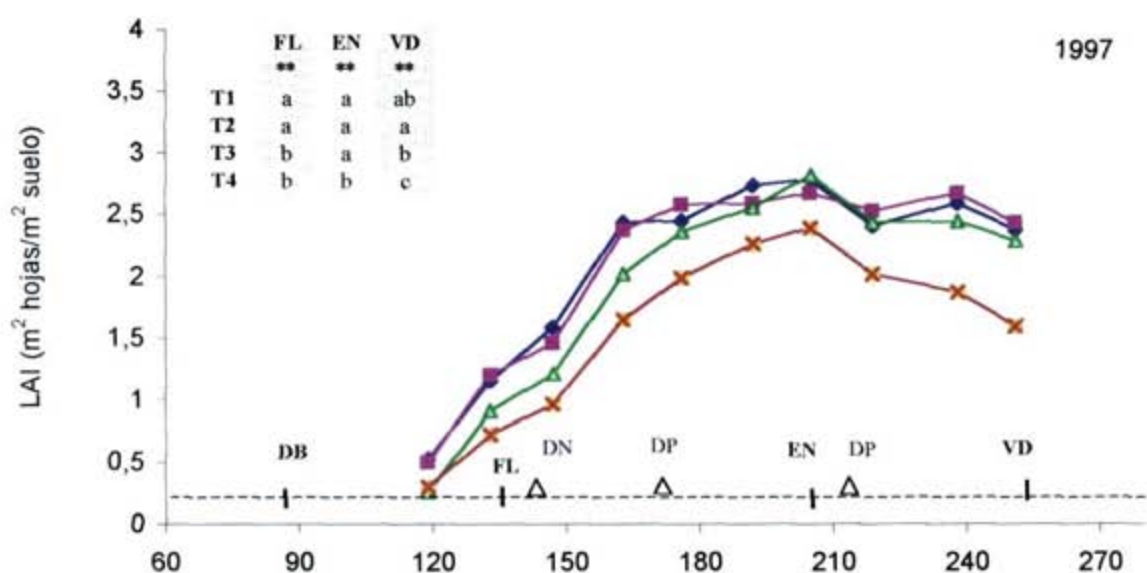
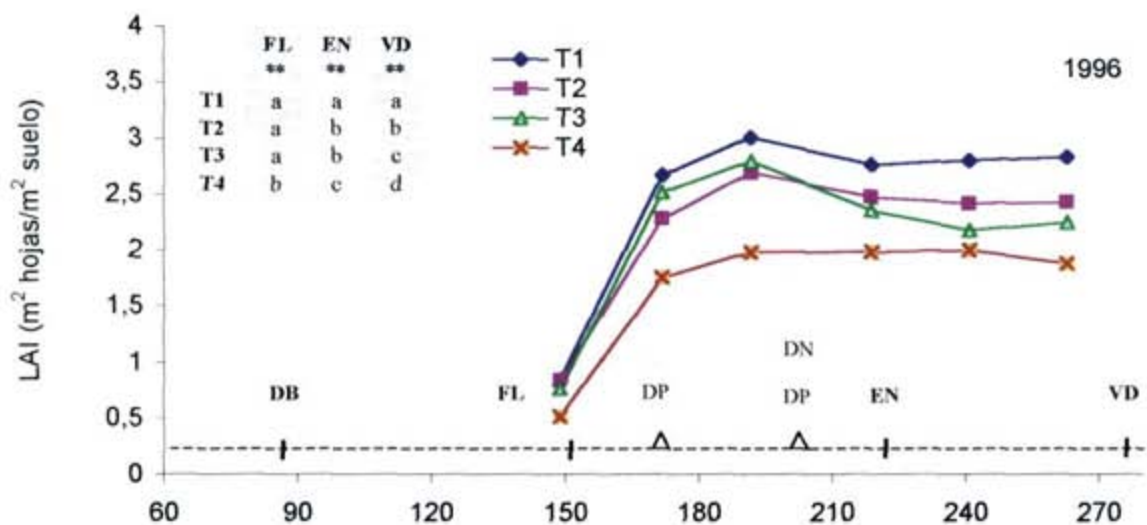
Durante la fase de maduración, se manifestaron **fenómenos de senescencia** en el índice de área foliar, como refleja su disminución en las Figuras anteriormente comentadas y, más específicamente en la **tabla III.1**. Ésta muestra, para los diferentes tratamientos y años del ensayo, la variación de las áreas foliares en principal, nietos y total entre envero y vendimia, así como relativizadas al valor correspondiente en envero. La superficie foliar en principales disminuyó en todos los casos, pero esa reducción fue especialmente acusada en 1997 (**figura III.5**), con pérdidas entre 0,24 y 0,32 m² de hojas de principal por m² de suelo. El tratamiento más afectado fue el seco, que redujo en un 29% su área foliar en principales, frente a la disminución del 16% en T1. El área foliar de nietos experimentó pérdidas más

ligeras que la del principal o incluso aumentó algo en el período de maduración. Es necesario señalar que en 1997, el despunte realizado una semana después del envero intervino en gran medida en la restricción de la superficie de hojas en nietos, principalmente en las plantas de los tratamientos T3 y T4, con los anticipados más desarrollados (figura III.8).

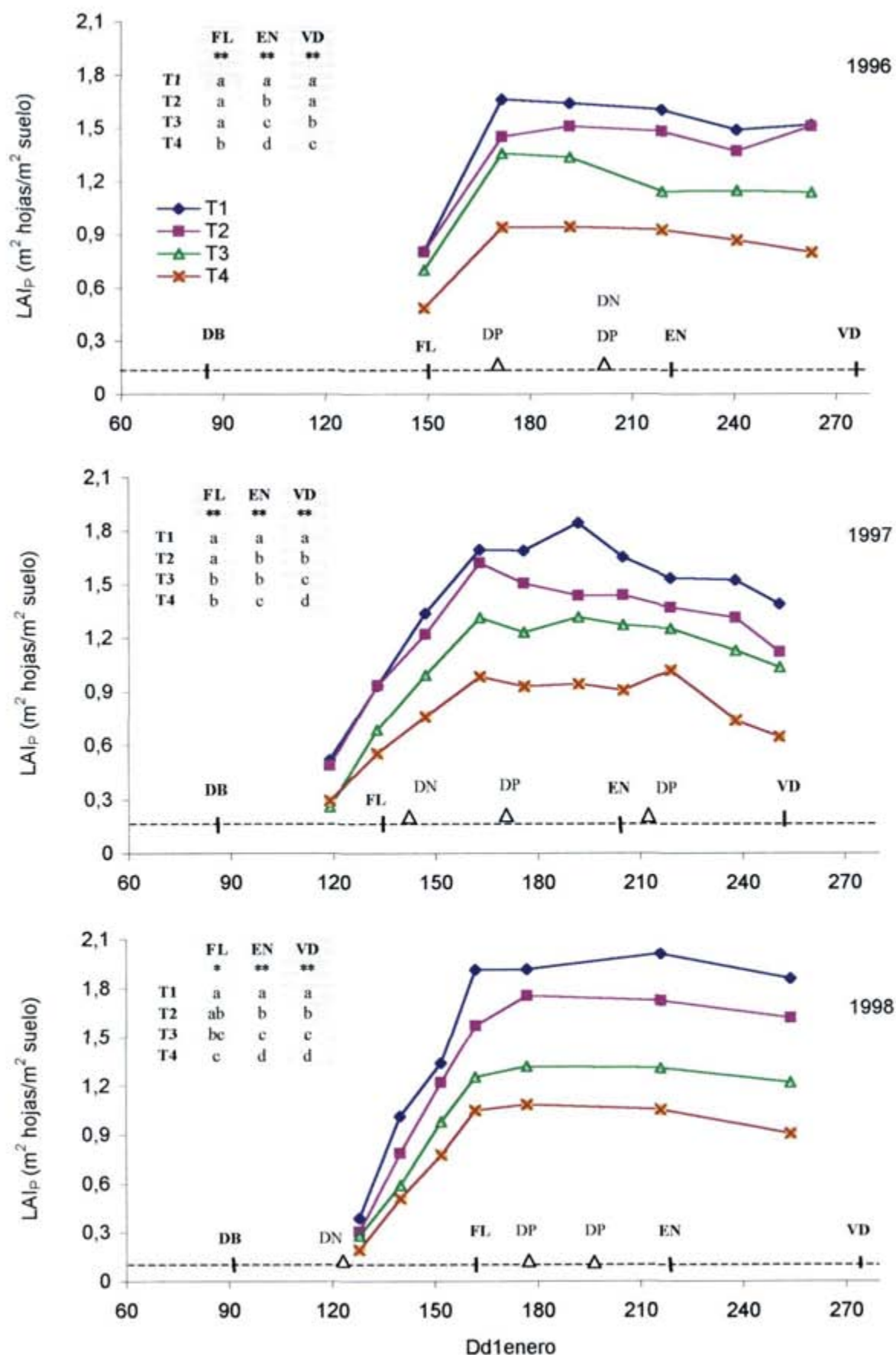
Tabla III.1. Incrementos de LAI entre envero y vendimia en principal (P), anticipados (N) y en el total de ambos, expresados en m² de hojas por m² de suelo y en porcentaje respecto del valor en envero. Las cifras en la tabla se han calculado a partir de los valores extractados de las figuras III.1-9, para los siguientes días: 219 y 263 en 1996; 205 y 251 en 1997; 216 y 254 en 1998. Los signos negativos representan una reducción entre envero y vendimia del valor del LAI correspondiente.

		T1			T2			T3			T4		
		P	N	Total	P	N	Total	P	N	Total	P	N	Total
1996	ΔLAI	-0,09	0,16	0,07	0,03	-0,07	-0,04	-0,01	-0,10	-0,11	-0,13	0,02	-0,11
	% ΔLAI	-5,4	13,9	2,6	1,8	-6,9	-1,8	-0,5	-8,5	-4,6	-13,7	2,0	-5,3
1997	ΔLAI	-0,26	-0,14	-0,41	-0,32	0,08	-0,24	-0,24	-0,29 ⁽¹⁾	-0,53 ⁽¹⁾	-0,26	-0,53 ⁽¹⁾	-0,80 ⁽¹⁾
	% ΔLAI	-15,9	-12,6	-14,5	-22,1	6,4	-8,9	-18,5	-18,8 ⁽¹⁾	-18,7 ⁽¹⁾	-28,9	-35,9 ⁽¹⁾	-33,2 ⁽¹⁾
1998	ΔLAI	-0,15	-0,09	-0,25	-0,10	0,07	-0,03	-0,09	-0,19	-0,30	-0,15	0,02	-0,12
	% ΔLAI	-7,7	-7,7	-7,7	-6,0	5,8	-1,1	-7,1	-12,8	-10,8	-13,8	1,6	-5,0

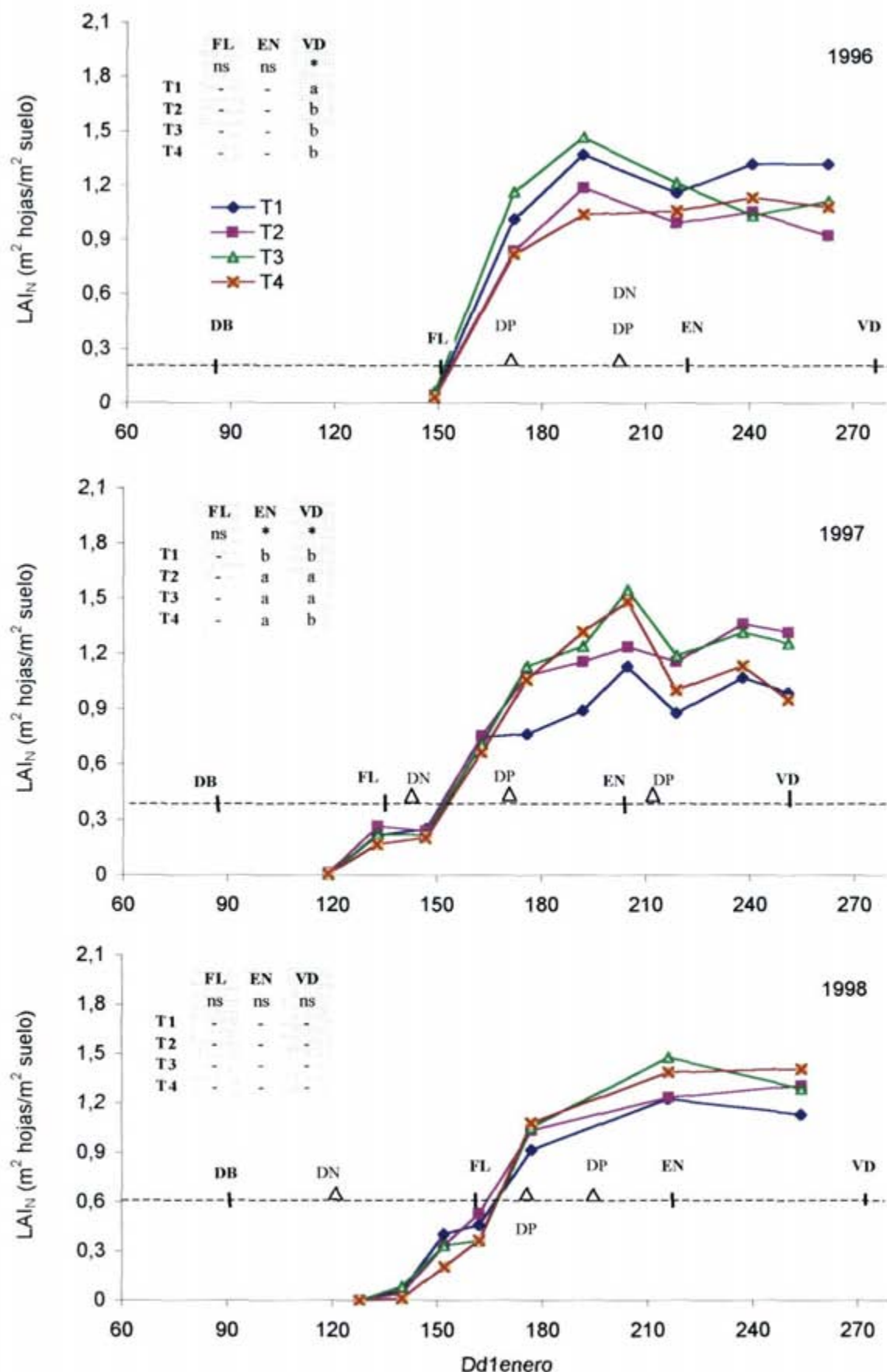
⁽¹⁾Valores mayorados debido al despunte realizado en la semana posterior al envero



Figuras III.1-3. Evolución a lo largo de las campañas 1996, 97 y 98, respectivamente, del índice de área foliar (LAI) de los diferentes tratamientos experimentales. Cada punto es la media de 4 repeticiones. En las tablas se muestra el resultado del análisis de varianza en floración, envero y vendimia de cada uno de los años, así como la separación de medias con el test de Duncan (alfa = 0,05)



Figuras IIL4-6. Evolución a lo largo de las campañas 1996, 97 y 98, respectivamente, del área foliar en principales con relación a la superficie de suelo (LAI_p) de los diferentes tratamientos experimentales. Cada punto es la media de 4 repeticiones. En las tablas se muestra el resultado del análisis de varianza en floración, envero y vendimia de cada uno de los años, así como la separación de medias con el test de Duncan ($\alpha = 0,05$)



Figuras III.7-9. Evolución a lo largo de las campañas 1996, 97 y 98, respectivamente, del área foliar en anticipados con relación a la superficie de suelo (LAI_N) de los diferentes tratamientos experimentales. Cada punto es la media de 4 repeticiones. En las tablas se muestra el resultado del análisis de varianza en floración, envero y vendimia de cada uno de los años, así como la separación de medias con el test de Duncan (alfa = 0,05)

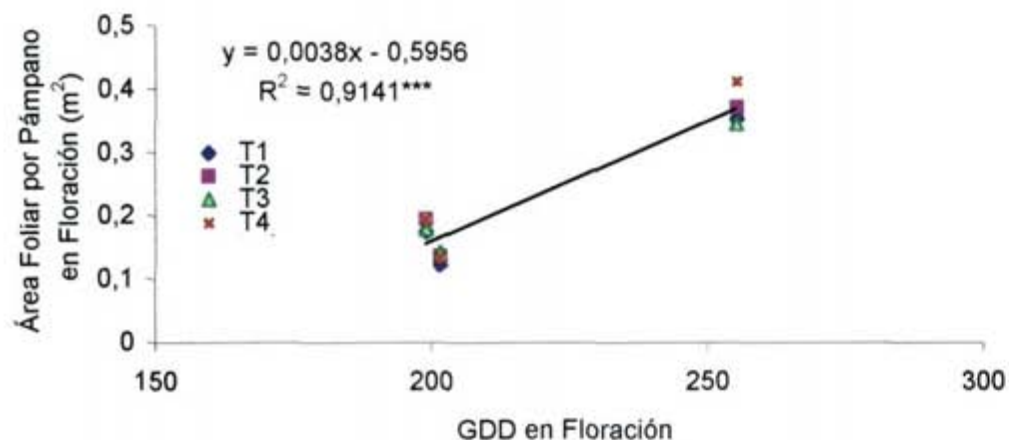


Figura III.10. Influencia de la integral térmica eficaz (GDD) en el área foliar por pámpano en floración. Cada punto representa el valor medio de cada tratamiento en cada uno de los 3 años del estudio

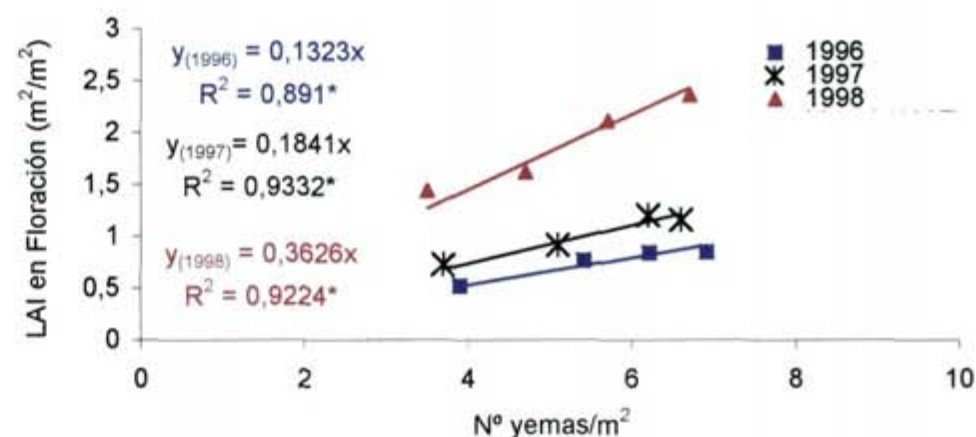


Figura III.11. Influencia del número de nudos retenidos en la poda en el desarrollo del área foliar hasta floración en cada uno de los tres años del estudio. Cada punto representa el valor medio para cada tratamiento y año

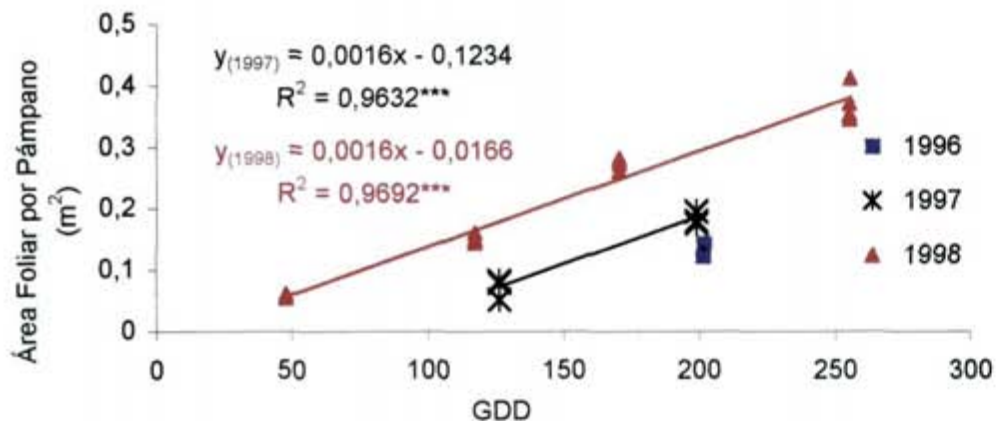


Figura III.12. Influencia de la integral térmica eficaz en el área foliar media del pámpano en el periodo comprendido entre desborre y floración. Cada punto representa el valor medio de un tratamiento en una fecha determinada dentro del periodo mencionado, para los diferentes años del estudio

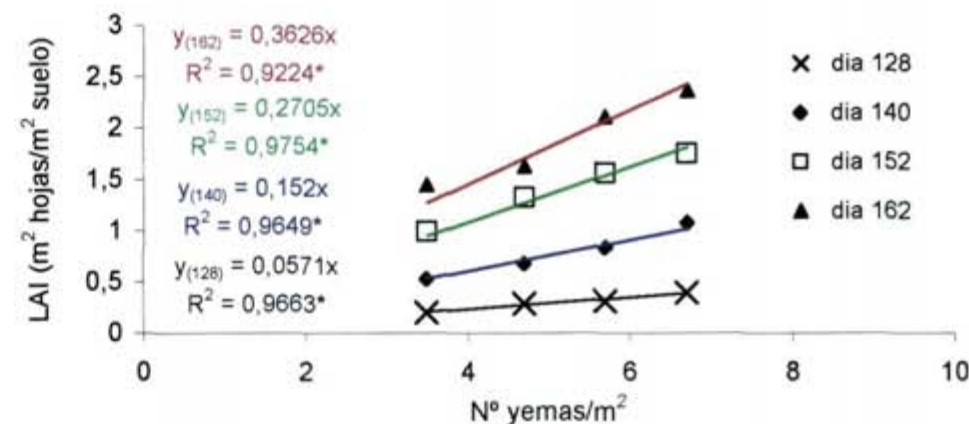


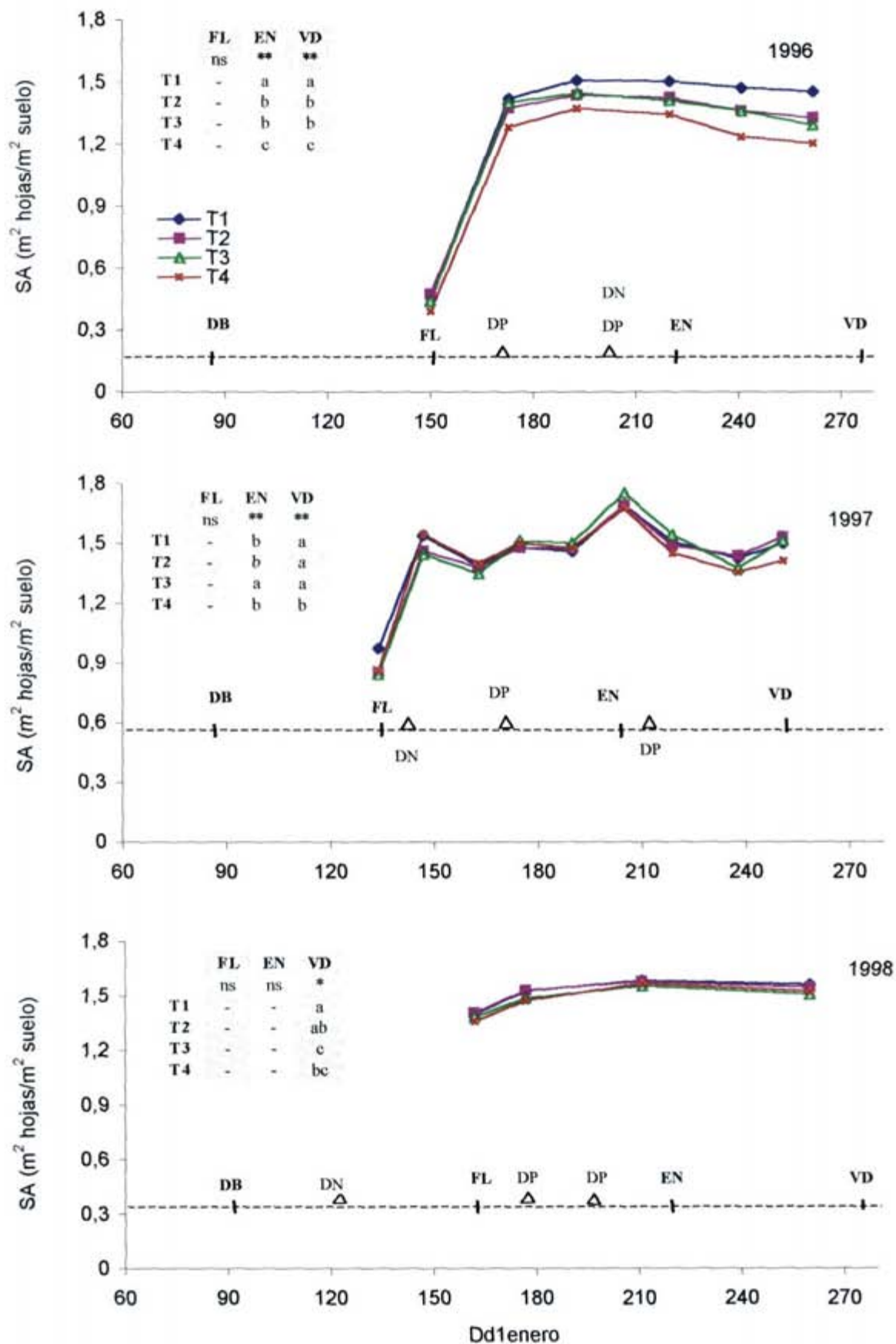
Figura III.13. Influencia del número de nudos retenidos en la poda en el índice de área foliar (LAI) en distintos días de 1998 comprendidos entre desborre y floración. Cada punto corresponde al valor medio de un tratamiento en el día del año que se indica

1.2 SUPERFICIE FOLIAR EXTERNA (SA)

Para designar abreviadamente a la superficie foliar externa se han usado las siglas del término anglosajón “surface area” (SA). Viene expresada en m^2 de superficie foliar / m^2 de suelo (**apartado II.3.2**). Puesto que una alta proporción de la asimilación total de CO_2 de una cepa se debe a la intercepción de luz directa (Smart, 1974), la productividad global de la planta procederá principalmente de sus hojas externas.

En las **figuras III.14-16** se representa para cada año de ensayo, respectivamente, la evolución a lo largo de la campaña de la SA media de cada uno de los tratamientos experimentales.

La superficie foliar externa alcanzó valores máximos en las mismas fechas que el LAI, es decir, coincidiendo con el envero. Tanto las dimensiones de las estructuras de conducción – iguales para el conjunto del ensayo –, como los despuntes realizados con objeto de mantener la forma de la espaldera, limitaron las diferencias en SA entre tratamientos. Así, entorno a la fecha de envero se obtuvieron SA entre 1,35-1,50 en 1996, 1,45-1,54 en 1997 y 1,56-1,59 en 1998, siendo el secano significativamente diferente del resto de los tratamientos solamente en 1996. Por otra parte, aunque en general el riego no tuvo una influencia estadísticamente detectable en la superficie externa de la planta a fecha de envero, durante el período de maduración sí jugó un papel importante en el mantenimiento de la SA ya alcanzada, acusándose más los fenómenos de senescencia en las cepas en secano. El número de los pámpanos por m^2 que constituyeron estas superficies externas se encontraba en los rangos 3,88-6,88 en 1996, 3,69-6,58 en 1997 y 3,48-6,73 en 1998 (**tabla II.7**). Las SA calculadas en el presente ensayo se hallan en concordancia con las medidas por Baeza (1994) en trabajos realizados también con Tempranillo/110-R, en la misma finca y con igual anchura de calle (2 m). Siendo las estructuras de conducción algo más altas en su ensayo, ella obtuvo SA que oscilaron entre 1,58 y 1,72, habiendo dejado, respectivamente, de 4,39 a 9,58 yemas/ m^2 y aplicando un coeficiente de cultivo de 0,6. Bartolomé (1993) en las mismas condiciones que Baeza (1994), midió para su tratamiento de regadío ($K_c=0,6$), con 8,12 yemas/ m^2 , una superficie foliar externa de $1,72 \text{ m}^2/\text{m}^2$, la cual fue significativamente mayor que la del secano, $1,32 \text{ m}^2/\text{m}^2$, donde sólo vegetaron 3,65 yemas/ m^2 .



Figuras III.14-16. Evolución a lo largo de la campañas 1996, 97 y 98, respectivamente, del índice de superficie foliar externa (SA) de los diferentes tratamientos experimentales. Cada punto es la media de 4 repeticiones. En las tablas se muestra el resultado del análisis de varianza en floración, envero y vendimia de cada uno de los años, así como la separación de medias con el test de Duncan (alfa = 0,05)

2. CONTENIDO DE AGUA DEL SUELO

2.1 CONTENIDO MEDIO DE AGUA EN EL SUELO

En las **figuras III.17-19** se muestra, para los años 1996-98, respectivamente, las evoluciones del contenido de agua en el suelo de cada tratamiento, expresado en porcentaje de volumen de agua respecto al volumen de suelo (θ_v).

La profundidad total de suelo medida por las cuatro sondas instaladas en cada repetición es de 110 cm, y el contenido de agua de dicho volumen se ha obtenido como media ponderada – según la profundidad - de las lecturas de esas cuatro sondas.

Para los tres años, **en desborre**, como consecuencia de las lluvias ocurridas desde vendimia del año precedente, los perfiles de todos los tratamientos presentaron contenidos en agua muy altos: entre 23,2 y 26,9% v/v (aproximadamente de 19,3 a 22,4% si se expresa en peso de agua respecto al peso seco de suelo, θ_g), que según la curva característica de humedad (**figura II.2**) corresponde a potenciales matriciales de suelo entre $-0,20$ y $-0,27$ bar (próximos a capacidad de campo). El secano presentó contenidos de humedad en desborre significativamente más bajos que los otros tratamientos, lo cual indicaría que las lluvias de otoño e invierno fueron insuficientes ambos años para compensar el mayor agotamiento de la reserva del suelo que había experimentado el T4 en la campaña previa.

Entre desborre y floración el comportamiento del contenido de agua en el suelo fue variable cada año y tanto las fluctuaciones que presentó como su valor final en floración, dependieron de la pluviometría principalmente. Así, en las campañas '96 y '98, los 101 y 221 mm, respectivamente, de precipitación efectiva en dicho intervalo, fueron responsables de contenidos de humedad que oscilaron entre 25,9 y 29,5% para el conjunto de los tratamientos (de $-0,1$ a $-0,2$ bar de Ψ_m); mientras, las precipitaciones más moderadas durante el mismo intervalo en el '97 (48 mm) permitieron que se llegara a floración con contenidos de agua más bajos, similares a los de desborre. En floración, de forma general para los tres años del ensayo, θ_v siguió siendo inferior para el secano que para T1 y T2, a pesar de que los LAI desarrollados por las plantas de éstos fueron superiores y de que aún no se había comenzado a regar.

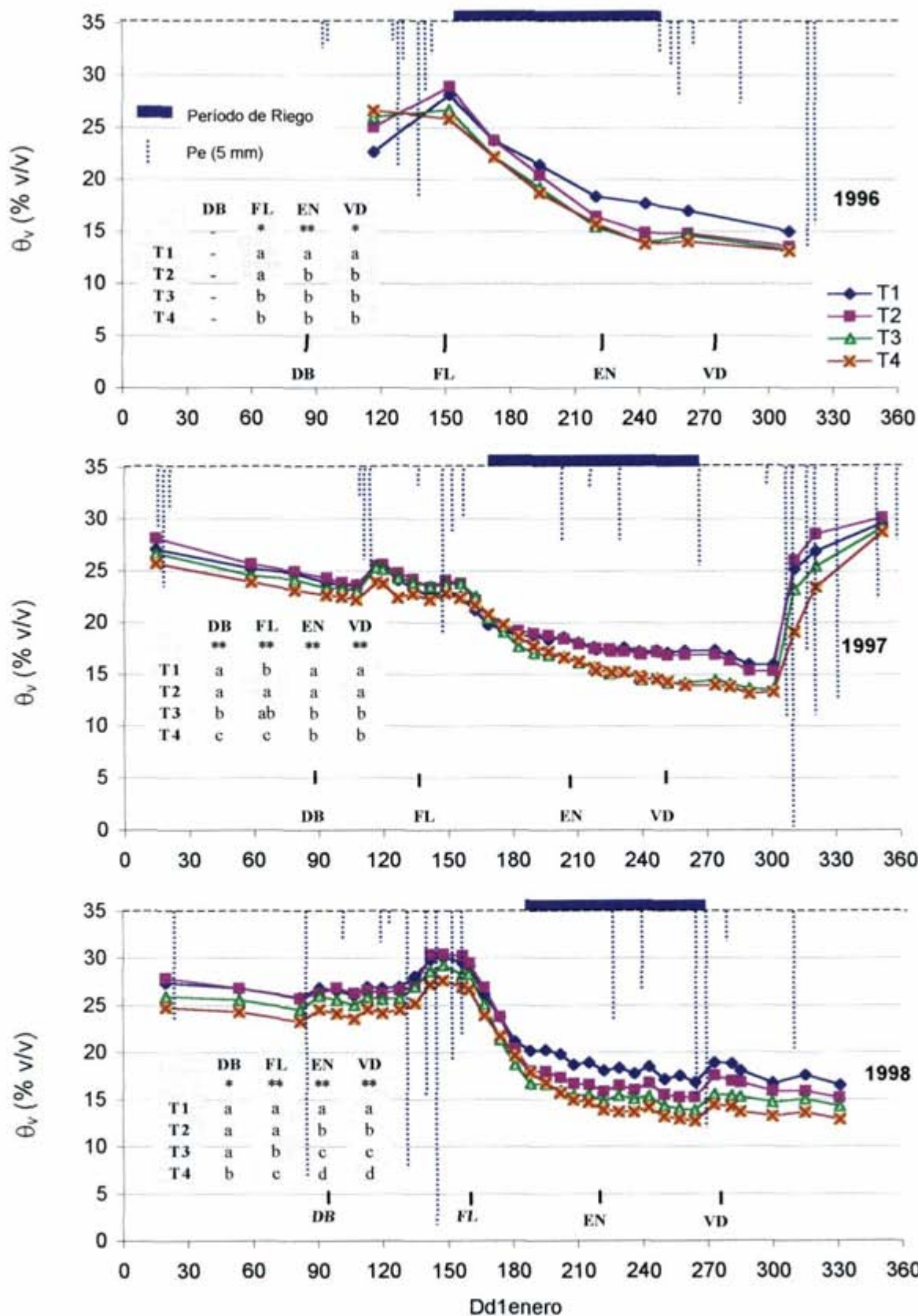
Entre floración y envero se produjo la caída de contenido en humedad del suelo más importante de la campaña, oscilando su cuantía para los diferentes tratamientos entre 9,8 y

12,5% en 1996, 4,7 y 7,2% en 1997 y entre 11,1 y 13,7% (v/v) en 1998 (valores en porcentaje de volumen de agua respecto al volumen de suelo, calculados a partir de las **figuras III.17-19**. La disminución más moderada en el '97 se explica por el menor θ_v en floración en esa campaña (y por tanto menor disponibilidad de agua para la planta) y a las lluvias producidas durante dicho intervalo en 1997 (frente a la ausencia de precipitaciones en los años 1996 y 1998 entre floración y envero).

Por otra parte, se ha puesto de manifiesto que incluso el coeficiente de riego más alto resultó deficitario en las condiciones de ensayo, puesto que los contenidos en θ_v del suelo siguieron descendiendo para todos los tratamientos después de que se comenzara a regar. No obstante, para T1 y T2 en los años en que se empezó a regar cuando ya había cierto nivel de agotamiento del agua en el suelo (en el '97 con Ψ_m entre $-0,33$ y $-0,44$ bar y en el año '98 con Ψ_m de $-0,4$ a $-0,8$ bar), el inicio de riego produjo de forma rápida una disminución de la pendiente de la curva de evolución de θ_v , ya que las SA de los diferentes tratamientos eran similares y el volumen de agua con que se regaban T1 y T2 era muy superior. Esto les permitió llegar a vendimia con contenidos de agua en suelo significativamente más elevados que los de T3 y T4.

En el secano (T4) se puede apreciar que el contenido de humedad del suelo al que el agua dejó de estar fácilmente disponible se encuentra en torno al 16-17% v/v (θ_g : 13,3-14% p/v), es decir, a potenciales matriciales medios entre $-0,66$ y -1 bar, lo cual se corresponde bien con el primer cambio de pendiente importante de la curva característica de humedad (**figuras II.1-2**). McCarthy (1998) apunta que el agua fácilmente disponible se toma normalmente como la comprendida entre alrededor de $-0,10$ y $-0,60$ bar Ψ_m , siendo la última cifra el valor por debajo del cual se reduce el crecimiento vegetativo. Se ha comprobado además que esa ralentización del consumo en el secano, que ocurrió entre 2 y 3 semanas antes del envero, no fue originada por una disminución de la demanda atmosférica, más bien al contrario, sucedió en las fechas en que ETo alcanzaba los máximos de la campaña.

A pesar de ser largo el período **de envero a vendimia** (7-8 semanas), el contenido medio de humedad de los perfiles disminuyó poco. Esto no se justifica con los valores de demanda evaporativa, que continuaron siendo bastante elevados, sino más bien porque se vio limitado el consumo tanto por los potenciales matriciales del suelo como por la propia regulación de la planta (parada de crecimiento, regulación estomática, senescencia de hojas...)



Figuras IIL17-19. Evolución a lo largo de las campañas 1996, 97 y 98, respectivamente, del contenido medio de humedad del suelo (θ_v) de los diferentes tratamientos experimentales. Cada punto es la media de 4 repeticiones. El valor de cada repetición se ha obtenido, a su vez, como media ponderada del contenido de humedad del suelo en los tramos de profundidad: 0-20 cm, 20-40 cm, 40-70 cm y 70-110 cm. En las tablas se muestra el resultado del análisis de varianza en desborre, floración, envero y vendimia de cada uno de los años, así como la separación de medias con el test de Duncan ($\alpha = 0,05$)

2.2 CONTENIDO DE AGUA A DISTINTAS PROFUNDIDADES DEL PERFIL

En las **figuras III.20-31** aparecen las evoluciones anuales de los contenidos de humedad en cada intervalo de profundidad del suelo, para los distintos tratamientos. En las **figuras III.32-43** se muestran las mismas curvas, pero agrupadas por tratamiento en vez de por zona del perfil.

Las lecturas de las sondas situadas **entre 0 y 20 cm de profundidad (prof.1)** vienen representadas en las **figuras III.20-22**. Estas sondas son las que peor reflejaron el consumo de la planta, puesto que al hallarse muy superficiales fluctuaba su medida fácilmente con las lluvias, la aplicación de agua de riego y por la evaporación del ambiente. De acuerdo con esto, la correspondiente al secano llegó a registrar valores mucho más bajos que las otras.

La evolución de los contenidos de humedad a **20-40 cm (prof.2)** se muestra en las **figuras III.23-25**. En las campañas '97 y '98, el riego supuso enseguida para T1 y T2 una mejora significativa de θ_v a esta profundidad. En el primer año de ensayo, los elevados contenidos de humedad en todos los tratamientos cuando se inició el riego originaron que dicha separación de medias se produjera más distanciadamente de esa fecha.

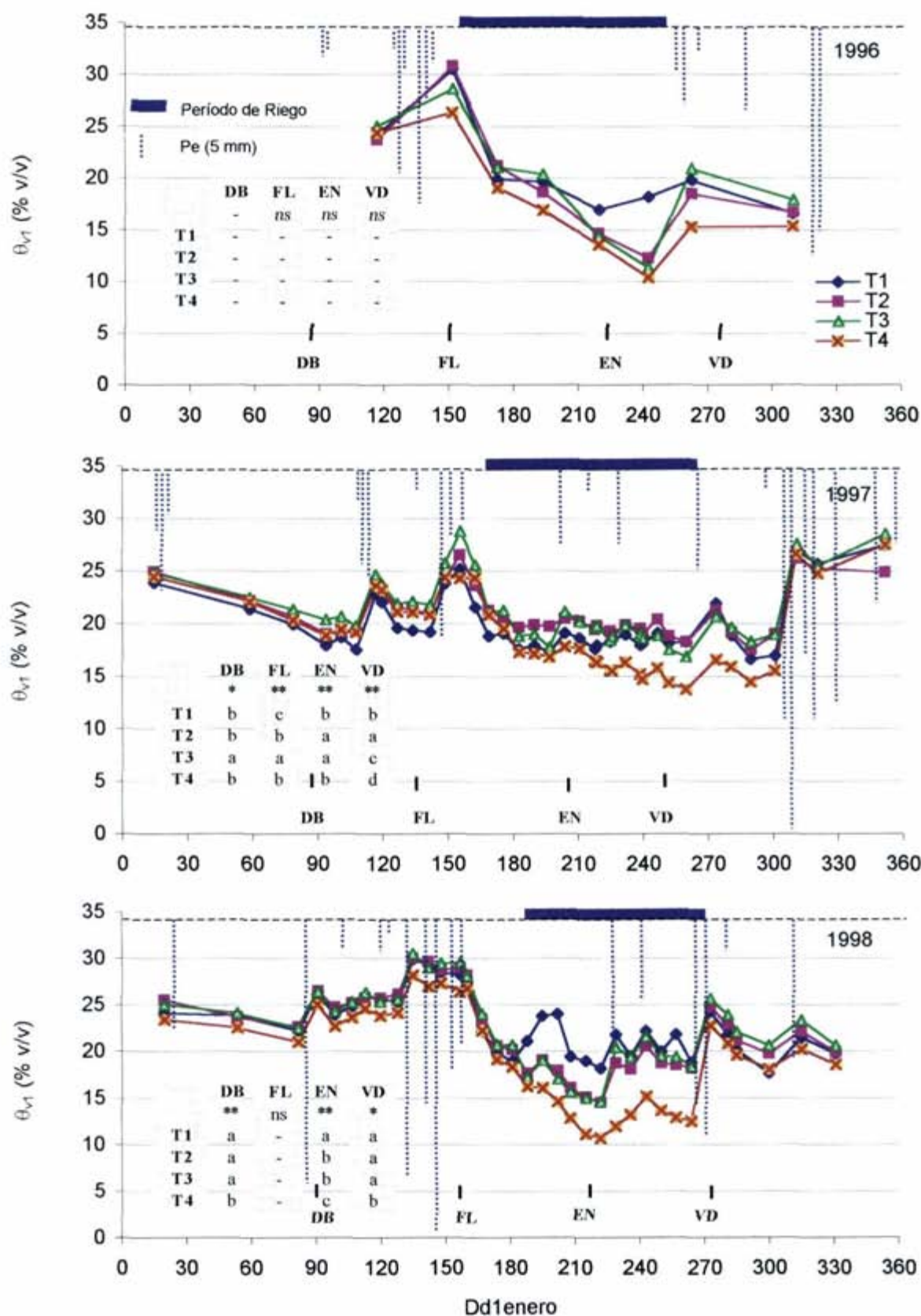
En la siguiente zona del perfil, **40-70 cm (prof.3)**, es en la que se alcanzaron niveles de θ_v más bajos en todos los tratamientos y en la que se produjo un mayor escalonamiento de los mismos (**figuras III.26-28**). El ordenamiento de los diferentes regímenes hídricos obedeció al equilibrio entre la recarga del perfil originada por el riego y la extracción de agua por las raíces. T1 ($Kc_1 = 0,45$) es el tratamiento que mantuvo un contenido de humedad más alto, llegando a vendimia con un θ_v del 15% v/v aproximadamente, lo que corresponde a $-1,7$ bar de Ψ_m , valor para el que el agua está “medianamente disponible”. En el extremo opuesto se encuentra T3 ($Kc_3 = 0,15$), que alcanzó los niveles de desecamiento más elevados, θ_v entorno a 10% v/v en vendimia, para los que el agua resulta muy difícilmente extraíble (**figura II.1**).

Para esta profundidad 3, entre ambos tratamientos se situaron T2 ($Kc_2 = 0,30$) y el secano, que a lo largo del período de maduración no mostraron siempre diferencias significativas entre sí. Es decir, mientras que hasta 40 cm el volumen aplicado a T2 había sido suficiente para mantener un nivel de θ_v similar al de T1, no sucedió así a mayor profundidad. Como muestra la tabla II.7, desde que se comenzó a regar hasta vendimia, el aporte conjunto de riego y precipitación efectiva por pámpano se ordenó de mayor a menor según coeficientes de cultivo. Esto permitió que a mayor dosis de riego, no sólo fuera superior el consumo de la

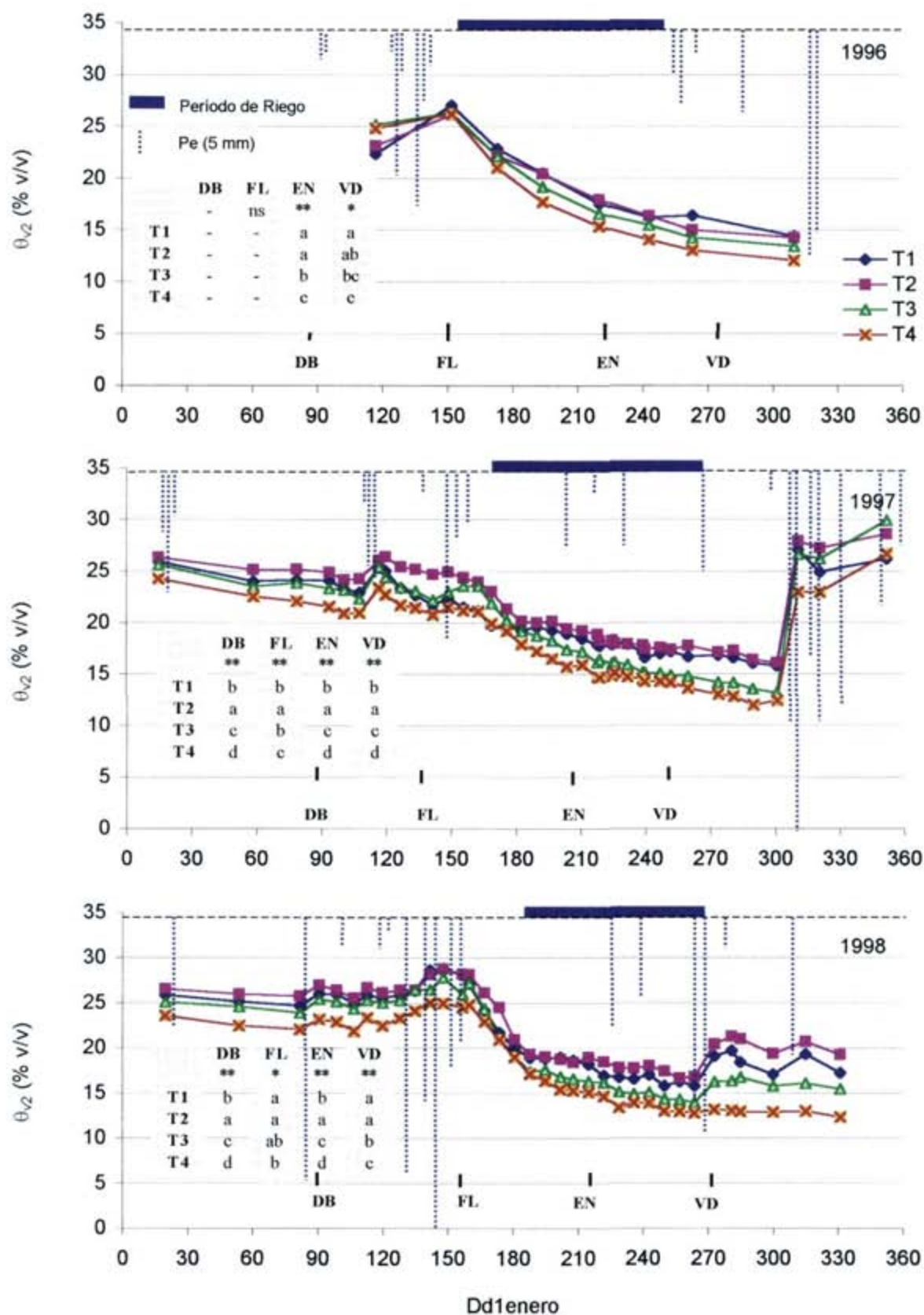
planta (**apartado III.4**), sino que se mantuvieran niveles de humedad más elevados en el suelo. En cuanto a esto, el tratamiento en secano supuso una excepción, pues para este intervalo de profundidad no presentó durante maduración θ_v inferiores a los de T3. Esto puede deberse a que este horizonte se encuentre en el secano menos densamente colonizado por raíces que en los tratamientos regados. Las **figuras III.41-43** presentan la evolución para cada campaña, respectivamente, de las diferentes sondas del secano. De ellas se deduce que la profundidad 40-70 cm es la más densamente colonizada por las raíces en el T4, pues todos los años es la que presenta niveles más bajos de agotamiento.

En los tratamientos de regadío (**figuras III.32-40**), el contenido de agua para 20-40 cm (prof. 2) y 70-110 cm (prof. 4) presentó valores similares en 1996 y 97 desde el comienzo del riego y hasta vendimia. Es decir, el menor consumo que se produjo a 70-110 cm (como puede observarse en el secano: **figuras III.41-43**) resultó en θ_v similar al de la profundidad 2, que experimentó una mayor extracción de agua pero una recarga también superior, - a través del riego y la lluvia -. Así, con el aporte de una pequeña cantidad de agua a través del riego ($Kc_3 = 0,15$), el nivel de θ_v a profundidad 4 se mantuvo igual que en el secano, mientras que a profundidad 2 aumentó algo. En el tratamiento de secano (**figuras III.41-43**), el nivel de agotamiento superior a 40-70 que a 20-40 cm y ambos más elevados que a 70-110 cm reflejarían las diferencias en densidad de raíces entre dichas zonas.

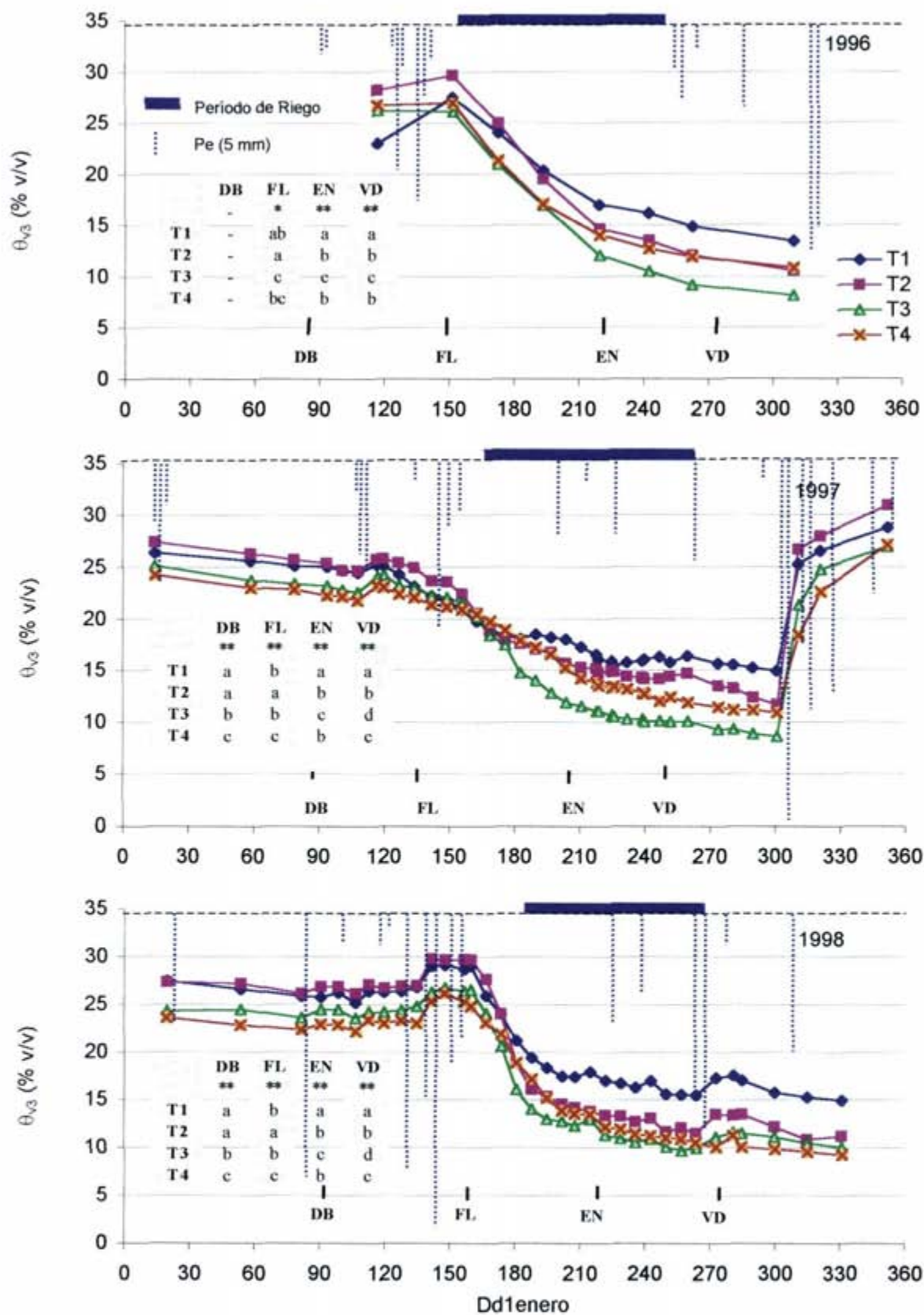
Comparando entre sí los tres tratamientos regados (**figuras III.20-31**) observamos que el aporte de volúmenes de agua mayores permitió que durante el período de maduración se mantuvieran niveles de humedad superiores en profundidad (así como en el conjunto del suelo, **figuras III.17-19**), a la par que se alimentó un mayor número de yemas y hubo consumos más altos (**tablas III.3-5**). Por ejemplo, como se comentó anteriormente, la modesta dosis de riego que supone el $Kc_3 = 0,15$ posibilitó a las plantas bajo ese tratamiento no sólo soportar una mayor carga en yemas que el secano, con el consiguiente incremento en el consumo de agua, sino también mantener un nivel de θ_v más elevado en los primeros 40 cm. Análogamente si comparamos T1 con T2 para 40-70 cm o T1 con T3 para 20-110 cm. Las consecuencias de esto son importantes, ya que la mayor disponibilidad de agua del suelo en los tratamientos regados les permite presentar potenciales foliares más altos y mantener una abertura estomática y tasas de fotosíntesis mayores (**apartado III.3**).



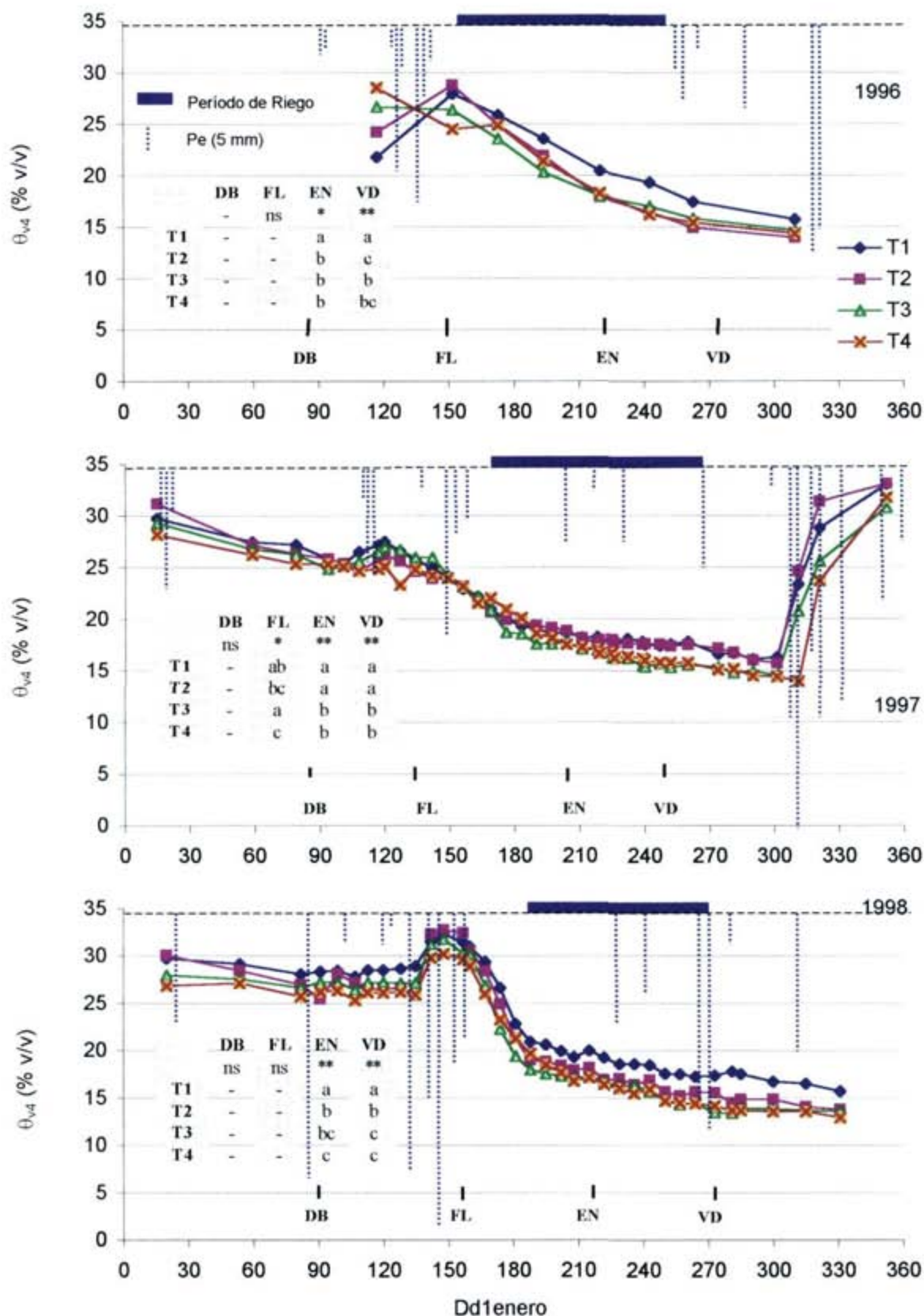
Figuras III.20-22. Evolución a lo largo de las campañas 1996, 97 y 98, respectivamente, del contenido de humedad entre 0 y 20 cm de profundidad (prof.1) para los diferentes tratamientos experimentales. Cada punto es la media de 4 repeticiones. En las tablas se muestra el resultado del análisis de varianza en desborre, floración, envero y vendimia de cada uno de los años, así como la separación de medias con el test de Duncan (alfa = 0,05)



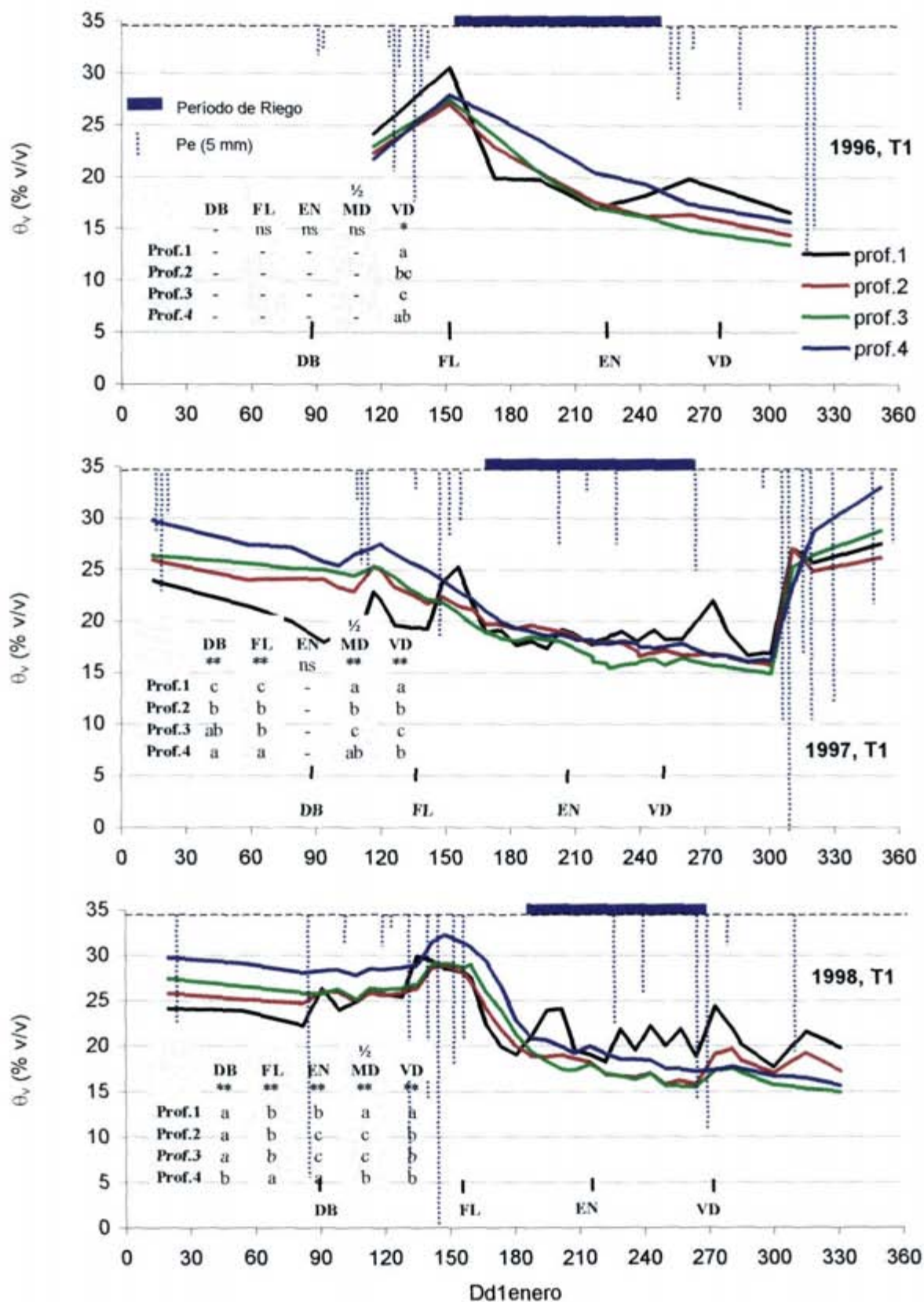
Figuras III.23-25. Evolución a lo largo de las campañas 1996, 97 y 98, respectivamente, del contenido de humedad entre 20 y 40 cm de profundidad (prof.2) para los diferentes tratamientos experimentales. Cada punto es la media de 4 repeticiones. En las tablas se muestra el resultado del análisis de varianza en desborre, floración, envero y vendimia de cada uno de los años, así como la separación de medias con el test de Duncan (alfa = 0,05)



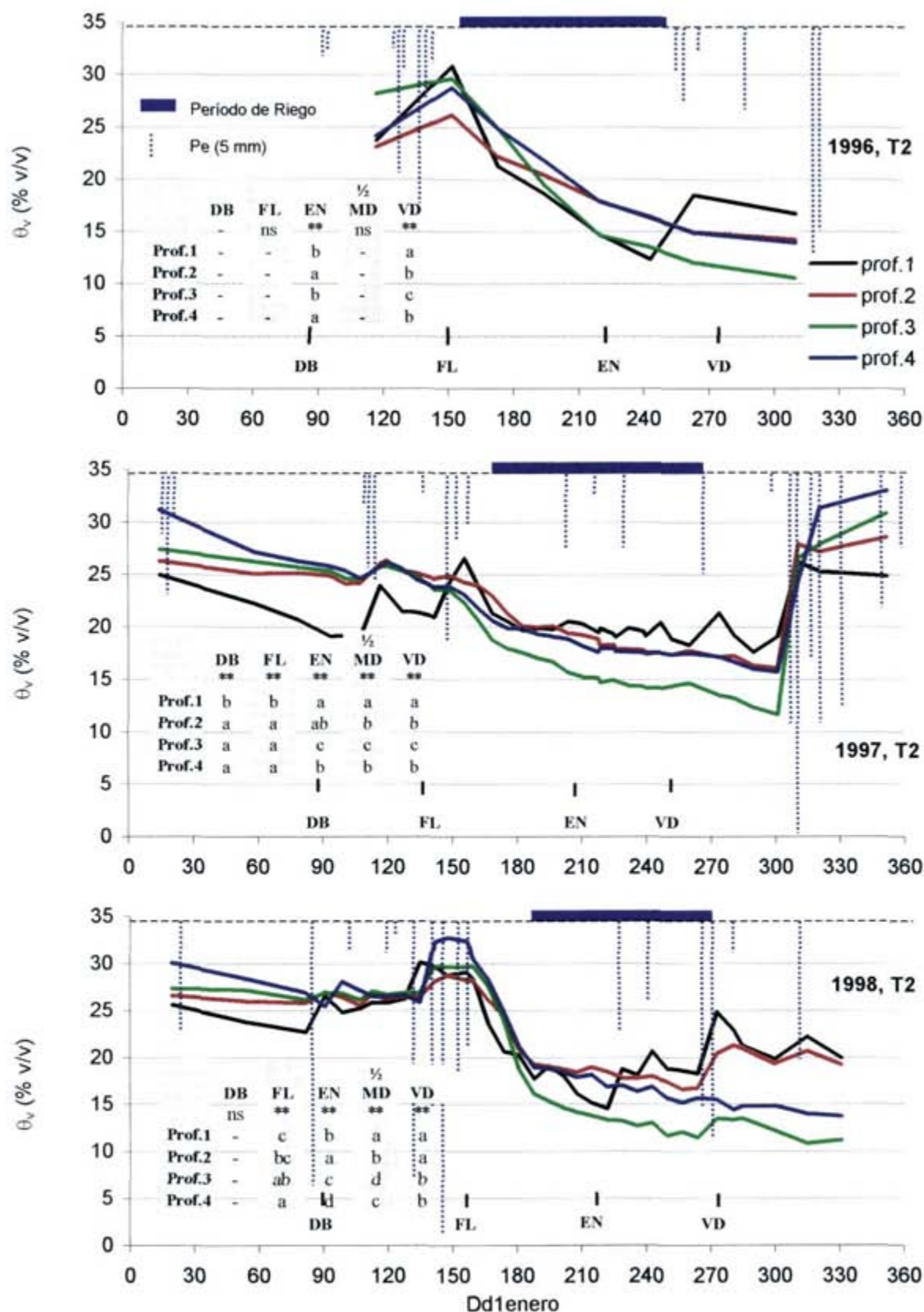
Figuras III.26-28. Evolución a lo largo de las campañas 1996, 97 y 98, respectivamente, del contenido de humedad entre 40 y 70 cm de profundidad (prof.3) para los diferentes tratamientos experimentales. Cada punto es la media de 4 repeticiones. En las tablas se muestra el resultado del análisis de varianza en desborre, floración, envero y vendimia de cada uno de los años, así como la separación de medias con el test de Duncan (alfa = 0,05)

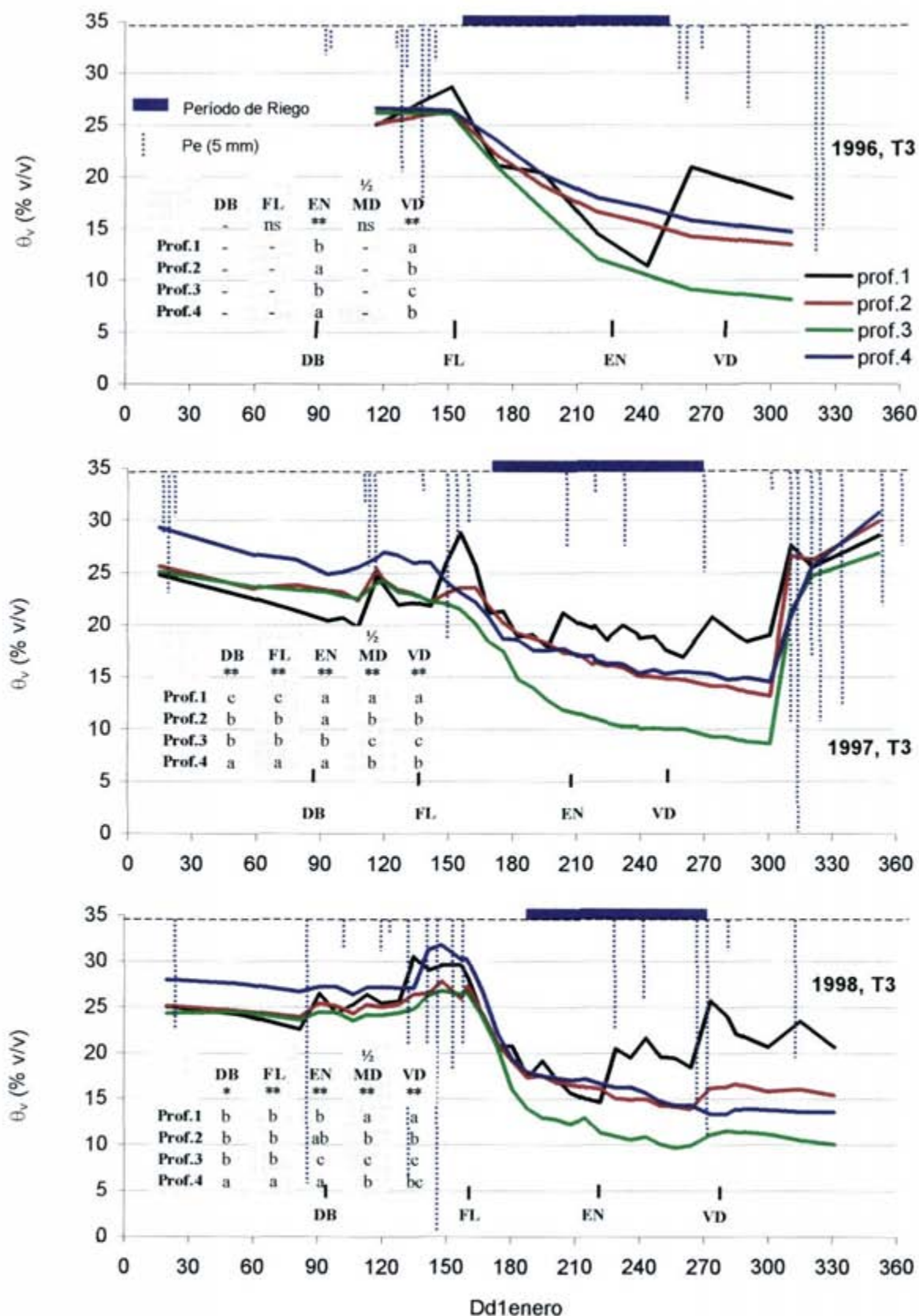


Figuras III.29-31. Evolución a lo largo de las campañas 1996, 97 y 98, respectivamente, del contenido de humedad entre 70 y 110 cm de profundidad (prof.4) para los diferentes tratamientos experimentales. Cada punto es la media de 4 repeticiones. En las tablas se muestra el resultado del análisis de varianza en desborre, floración, envero y vendimia de cada uno de los años, así como la separación de medias con el test de Duncan (alfa = 0,05)

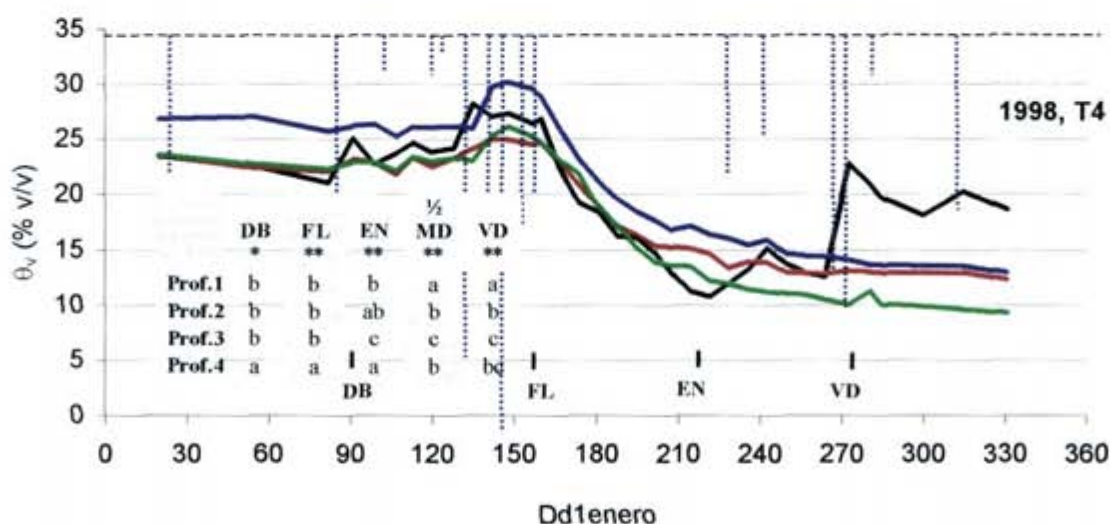
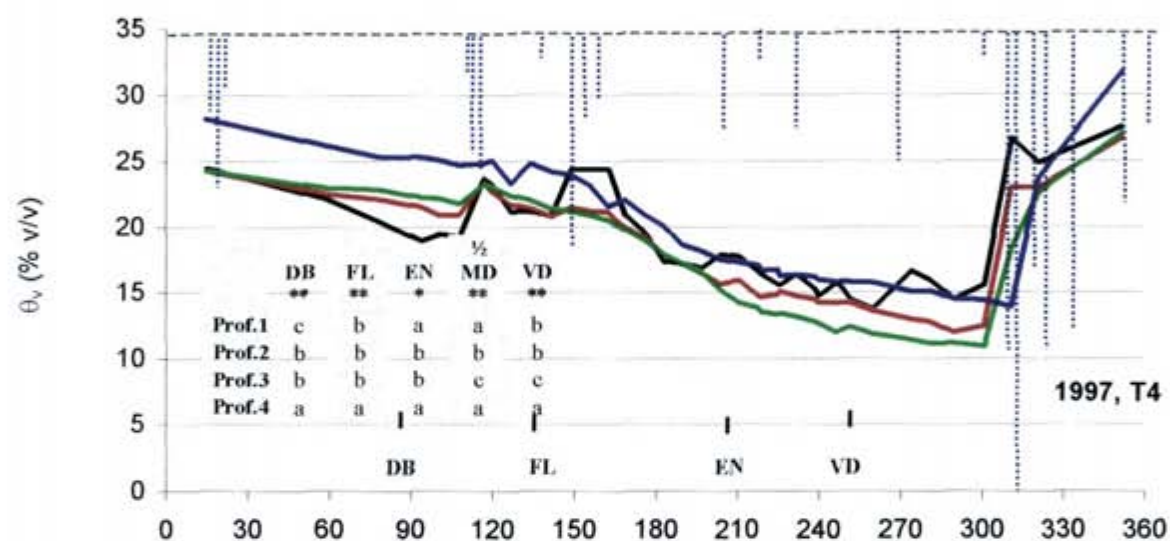
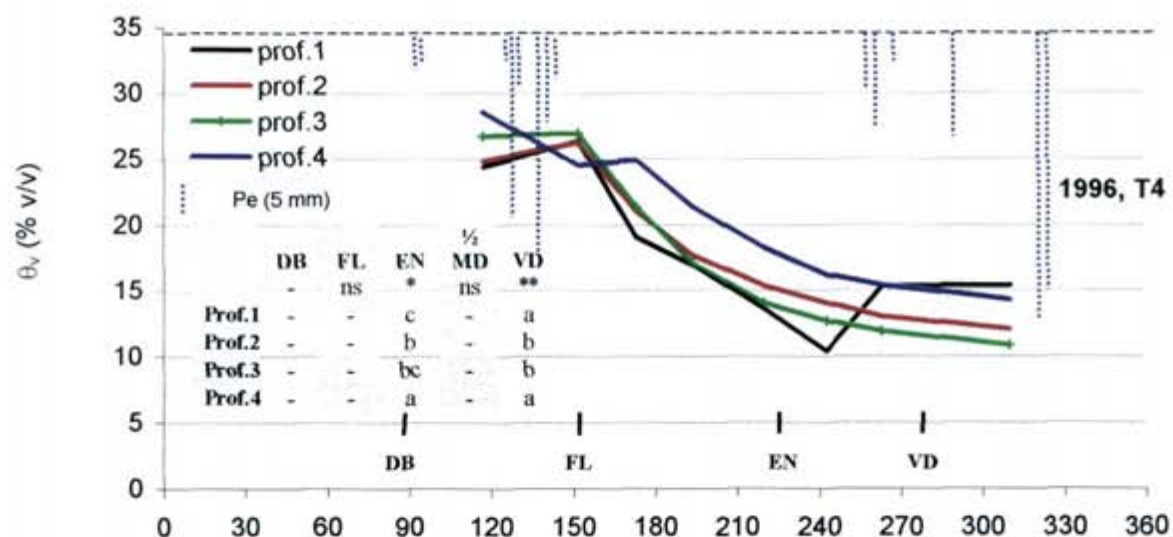


Figuras III.32-34. Evolución a lo largo de las campañas 1996, 97 y 98, respectivamente, del contenido de humedad del suelo a las profundidades 1 (0-20 cm), 2 (20-40 cm), 3 (40-70 cm) y 4 (70-110 cm), en el tratamiento experimental 1 (T1). Cada punto es la media de 4 repeticiones. En las tablas se muestra el resultado del análisis de varianza en desborre, floración, envero, mitad del período de maduración y vendimia de cada uno de los años, así como la separación de medias con el test de Duncan (alfa = 0,05)





Figuras III.38-40. Evolución a lo largo de las campañas 1996, 97 y 98, respectivamente, del contenido de humedad del suelo a las profundidades 1 (0-20 cm), 2 (20-40 cm), 3 (40-70 cm) y 4 (70-110 cm), en el tratamiento experimental 3 (T3). Cada punto es la media de 4 repeticiones. En las tablas se muestra el resultado del análisis de varianza en desborre, floración, envero, mitad del período de maduración y vendimia de cada uno de los años, así como la separación de medias con el test de Duncan (alfa = 0,05)



Figuras III.41-43. Evolución a lo largo de las campañas 1996, 97 y 98, respectivamente, del contenido de humedad del suelo a las profundidades 1 (0-20 cm), 2 (20-40 cm), 3 (40-70 cm) y 4 (70-110 cm), en el tratamiento experimental 4 (T4). Cada punto es la media de 4 repeticiones. En las tablas se muestra el resultado del análisis de varianza en desborre, floración, envero, mitad del periodo de maduración y vendimia de cada uno de los años, así como la separación de medias con el test de Duncan (alfa = 0,05)

3. FISIOLÓGÍA DE LA HOJA

3.1 INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO SOBRE LA CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA AL VAPOR DE AGUA

En este sentido se ha analizado en el presente trabajo la relación entre el contenido porcentual de agua en el volumen ocupado por las raíces -110 cm superiores de suelo- y la conductancia estomática a las 9 hs en hojas plenamente iluminadas (**figura III.44**). Los valores que se presentan son datos medios de cada tratamiento en dos fechas diferentes para cada una de las tres campañas (finales de junio, coincidiendo con el cierre de racimos, y finales de agosto o inicios de septiembre, durante el período de maduración de la baya). Se eligieron los valores de conductancia estomática medidos entorno a las 9 hs y en hojas al este, por ser entonces las condiciones de la planta (en particular el potencial hídrico) y de la atmósfera (temperatura, iluminación y humedad relativa) adecuadas para que la conductancia alcance su óptimo diario.

Pues bien, se ha encontrado que la respuesta estomática en esas condiciones presenta un buen ajuste con θ_v de tipo potencial ($g_s = a \cdot \theta_v^b$). Es interesante destacar que el carácter curvilíneo de la relación entre ambas variables supone que:

- para contenidos altos de agua en el suelo (superiores a 21% v/v, es decir Ψ_m mayores de -33 kPa) la pendiente de la curva sea muy elevada y pequeños cambios en θ_v tengan gran incidencia en g_s
- para contenidos bajos de agua en el suelo (inferior a 17% v/v, es decir Ψ_m menor de -100 kPa) disminuciones importantes de θ_v den lugar a conductancias parecidas.

Williams, et al. (1994), encontró una relación lineal entre el contenido volumétrico de agua en el suelo y la conductancia estomática a mediodía para cv. “Thompson Seedless”. Las conductancias medidas se encontraban en el rango $160\text{-}1080 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. El contenido de agua en el suelo correspondía a la media de 3 m de profundidad. Con los datos obtenidos

en los ensayos de la presente tesis podemos también establecer una relación lineal altamente significativa para los valores de contenido de humedad del suelo inferiores a 21% v/v, pero la pendiente de esa recta es aproximadamente la mitad que la mostrada por Williams, et al. (1994). Al no presentar estos autores ningún tipo de indicación sobre las características del suelo en que se encontraban sus cepas, ni tampoco sobre los potenciales matriciales que se desarrollan para los distintos contenidos de humedad, resulta difícil discutir los resultados esta tesis con los suyos. También el tamaño de las plantas o su densidad de raíces son, entre otros, aspectos de importancia para comparar la disponibilidad de agua del suelo para las cepas del ensayo de Williams y para las de este estudio (Kramer y Boyer, 1995).

Por otra parte, el efecto de la disponibilidad de agua del suelo en la evolución diaria de la conductancia estomática se ilustra con las **figuras III.47-50**, que presentan la variación de la g_s en sendas caras de la espaldera a lo largo de los días 26 de junio de 1998 (θ_v entre 19 y 21% para el conjunto de los tratamientos, es decir Ψ_m aproximadamente entre -55 y -33 kPa) y 9 de septiembre del mismo año (θ_v entre 13 y 17%, es decir Ψ_m entre -400 y -100 kPa). Se han escogido estos gráficos con objeto de no redundar en la información presentada y porque muestran el comportamiento medio de los tratamientos experimentales para los tres años de ensayo en fechas análogas, citándose dichas mediciones en la **tabla II.12**. Pues bien, al avanzar el ciclo y disminuir los contenidos de humedad del suelo, la conductancia estomática se reduce en general durante todo el día y además los máximos diarios –que se producen en la cara este- tienden a desplazarse hacia primeras horas de la mañana para los tratamientos más estresados y análogamente los máximos del lado Oeste lo hacen hacia últimas horas de la tarde. Estos cambios son especialmente acusados para las cepas en secano. Bartolomé (1993) constató comportamientos similares en vid, así como Pereira, et al. (1986) en trabajos sobre eucalipto en clima mediterráneo.

3.2 RELACION ENTRE LA CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA Y LA TASA DE FOTOSÍNTESIS NETA

En la **figura III.45** se presentan las relaciones halladas entre la tasa de fotosíntesis y la conductancia estomática en dos situaciones diferentes: la cara este de la espaldera a las 9 hs y la Oeste a las 15 hs. Se escogió estudiar ambas variables para esas combinaciones de orientación y hora del día porque es cuando se daban las mejores circunstancias para la asimilación de CO_2 en las condiciones del ensayo. Cada punto del gráfico es el valor promedio de diversas medidas efectuadas en cada tratamiento experimental en una fecha

determinada y entorno a la hora especificada. Se presentan valores correspondientes a diversas fechas de los tres años del ensayo, que abarcan desde los estados iniciales de desarrollo de la baya a vendimia (**apartado II.5.1**).

Se muestran asimismo en ese gráfico (**figura III.45**) las regresiones logarítmicas entre A y g_s correspondientes a sendos tipos de medida ($A = c \cdot \ln(g_s) + d$). Los coeficientes de determinación (R^2), superiores a 0.80, son altamente significativos, indicando la elevada influencia de la conductancia estomática en la tasa de fotosíntesis cuando no se encuentra limitada ésta por el flujo de fotones de luz que alcanzan la hoja.

Zufferey, et al. (1999) en investigaciones realizadas en viñedos suizos con cv. "Chasselas" sobre las tasas de asimilación en ambos planos verticales de la espaldera, encontró que para filas orientadas Norte-Sur, tanto la tasa máxima diaria de fotosíntesis neta como el balance diario de asimilación de CO_2 eran algo mayores en el plano Este de la espaldera que en el Oeste. No obstante esa diferencia no fue muy marcada. Sin embargo, las curvas que se presentan en la **figura III.45** para las caras Este y Oeste de la espaldera, respectivamente, indican que en nuestras circunstancias hay una diferencia importante entre la asimilaciones efectuadas por las caras Este y Oeste, a igualdad de conductancia estomática. La causa probable de ello es el aumento de la tasa de fotorespiración en relación a la asimilación de carbono. Los trabajos realizados sobre la cinética del enzima rubisco indican que cuando aumenta la temperatura se ve favorecida de forma creciente la oxigenación respecto de la carboxilación (Harley y Tenhunen, 1991). Probablemente en las condiciones de Suiza, el gradiente de presión de vapor entre la hoja y el aire por la tarde es más parecido al de la mañana, al ser más suaves las temperaturas.

Otro aspecto que conviene destacar es que, al ser A función logarítmica de g_s , la pendiente de esa curva, inversamente proporcional g_s , se hace muy pronunciada para conductancias bajas, mientras que tiende a cero para valores muy altos de ésta. Esa marcha de la pendiente supone también que la relación A/g_s , conocida como eficiencia intrínseca del uso del agua (Osmond, et al., 1980; Schultz, 1996), disminuye al aumentar la conductancia estomática. En este trabajo se ha podido distinguir de forma práctica tres tramos de pendiente muy distinta, que de más a menos pronunciada corresponden a g_s inferior a $50 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, entre 50 y 200 y superior a $200 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente.

Es necesario resaltar que el rango de conductancias que se muestran en este trabajo – en general inferiores a $300 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ – es similar al presentado por Baeza (1994) en ensayos también en Madrid con cv. *Tempranillo* conducido en espaldera, para medidas efectuadas durante el verano a las 8 y 12 hs. Yuste (1995) sin embargo, encontró en cepas del mismo cultivar en espaldera, conductancias de hasta $750 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a las 8 hs en la primera quincena de julio. Se ha comprobado asimismo, que el conjunto de medidas de A y g_s a las 8 hs-Este presentadas por Yuste (1995) se ajustan también a una relación logarítmica (**figura III.46**) y que ésta es muy próxima a la mostrada en la **figura III.45**, con datos del presente estudio. Düring, et al. (1996) también hallaron una relación no lineal entre g_s y A , y presentaron conductancias de hasta $550 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. En un ensayo en California de diferentes dosis de riego con cepas de “Thompson Seedless”, Williams et al. (1994) encontraron asimismo una relación curvilínea entre ambos parámetros a mediodía, según la cual se alcanzaba un A máximo estable de $15\text{-}16 \text{ }\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ para g_s de aproximadamente $500 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Es destacable además que, el tratamiento menos regado de ese ensayo -al que se aplicó un 20% de la demanda total del viñedo- no presentó valores de conductancia a lo largo de la campaña superiores a 400; sin embargo, el resto de tratamientos (60, 100 y 140%) alcanzaron a mediodía g_s muy superiores en general -entre 500 y $1100 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ -. La curva presentada por Williams et al. (1994) contrasta con las elaboradas para cv. *Tempranillo* (**figura III.46**) en varios aspectos:

- En “Tempranillo”, A comienza a asintotar respecto del eje horizontal (g_s) a partir de $300 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, por tanto mucho antes que *Thompson Seedless*
- Para esa conductancia, “Tempranillo” presenta tasas de asimilación de $15\text{-}16 \text{ }\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; “Thompson Seedless”, sin embargo, no alcanza esas tasas hasta conductancias de $600 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
- La curva de “Tempranillo” alcanza una $A_{\text{máx}}$ de entorno a $20 \text{ }\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (un 20% superior que “Thompson Seedless”)

- La eficiencia en el uso del agua (A/g_s) es superior en “Tempranillo”, pero especialmente en los rangos bajos de conductancia. Así por ejemplo, para g_s 100 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, A es 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en “Tempranillo” ($A/g_s = 0.1$) y prácticamente nula para “Thompson Seedless” según Williams, et al. (1994). Es necesario que se triplique g_s (300 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), para que “Thompson” alcance asimilaciones de 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ($A/g_s = 0,033$), siendo entonces 16 la tasa de asimilación en “Tempranillo” ($A/g_s = 0,053$).

Es probable que parte de las diferencias cuantitativas comentadas se deban a que al mediodía en la zona donde se desarrolló el experimento (al tratarse de una variedad de uva de mesa, se localizó posiblemente en la zona de Fresno) las temperaturas fueran bastante elevadas en relación a las que se producían a las 9 hs en las hojas estudiadas esta tesis, siendo por tanto también superior la tasa de fotorespiración en aquella situación (Düring, 1988; Iacono y Somer, 1996).

La relación entre A y g_s presentada por Düring, et al. (1996) se encuentra entre las comentadas anteriormente para “Tempranillo” y “Thompson Seedless”.

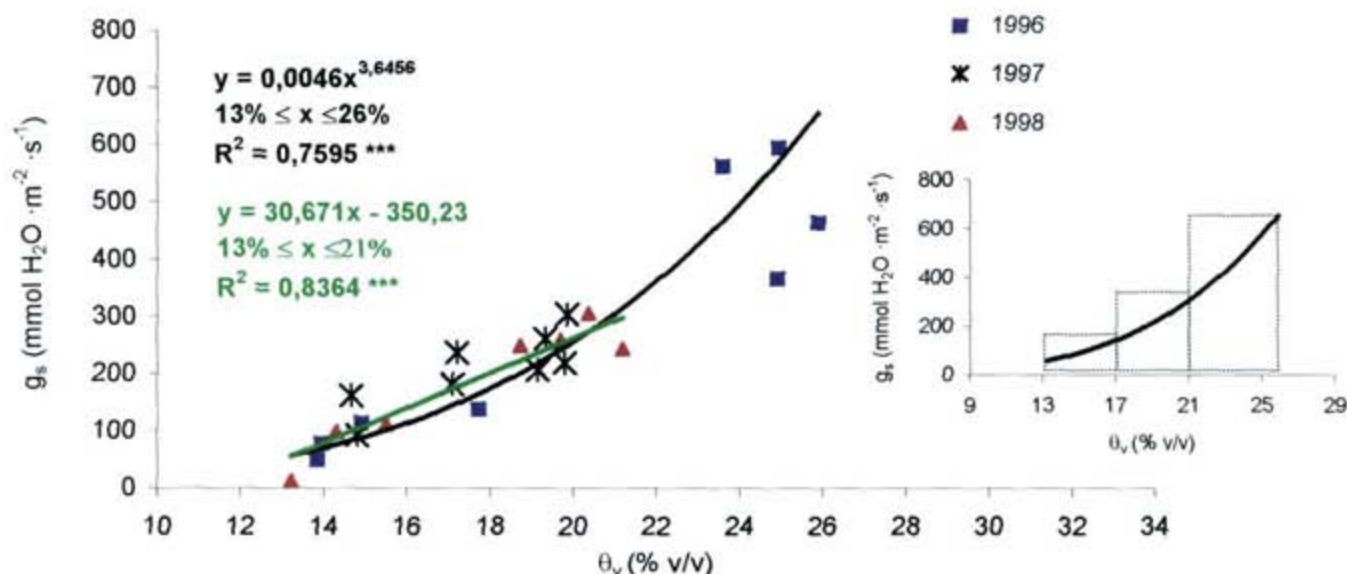


Figura III.44. Relación entre el contenido medio de humedad del suelo (θ_v) y la conductancia estomática (g_s) a las 9 hs en hojas exteriores bien iluminadas al Este de la espaldera. Se representan todos los tratamientos en dos fechas por cada una de las tres campañas. La primera fecha coincide con el cierre de racimos (finales de junio) y la otra con mitad del período de maduración (finales de agosto o primeros de septiembre). La regresión curvilínea -en negro- se corresponde con el conjunto de los puntos representados, mientras que la lineal -en verde- solamente con los valores de θ_v comprendidos entre 13 y 21% v/v. Cada punto corresponde al valor medio de un tratamiento en una fecha

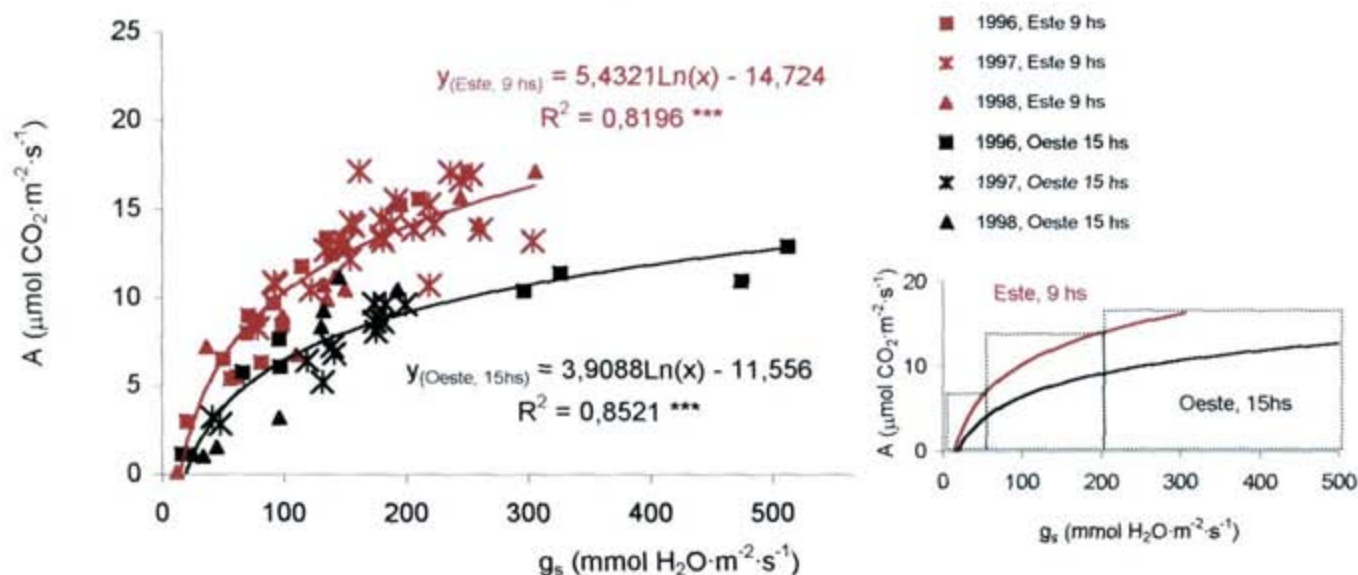


Figura III.45. Relación entre la tasa de fotosíntesis neta (A) y la conductancia estomática (g_s) en dos situaciones diferentes: cara Este de la espaldera a las 9 hs y cara Oeste a las 15 hs. Cada punto representado corresponde a la media de un tratamiento en un día determinado, a la hora y en la orientación de la espaldera que se especifica en la leyenda. Se encuentran representados todos los tratamientos en diversos momentos del ciclo comprendidos entre cuajado y vendimia para los tres años del ensayo (1996-98)

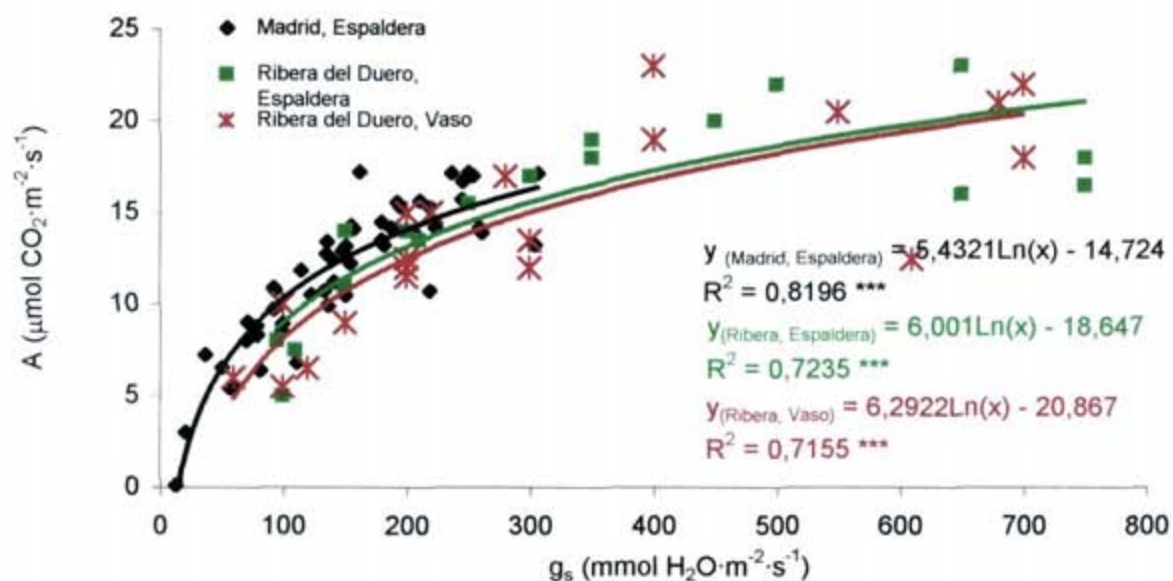


Figura III.46. Relación entre la tasa de fotosíntesis neta (A) y la conductancia estomática (g_s) en dos situaciones diferentes: cara este de la espaldera a las 9 hs y cara oeste a las 15 hs. Cada punto representado corresponde a la media de un tratamiento en un día determinado, a la hora y en la orientación de la espaldera que se especifica en la leyenda. Se encuentran representados todos los tratamientos en diversos momentos del ciclo comprendidos entre cuajado y vendimia para los tres años del ensayo (1996-98)

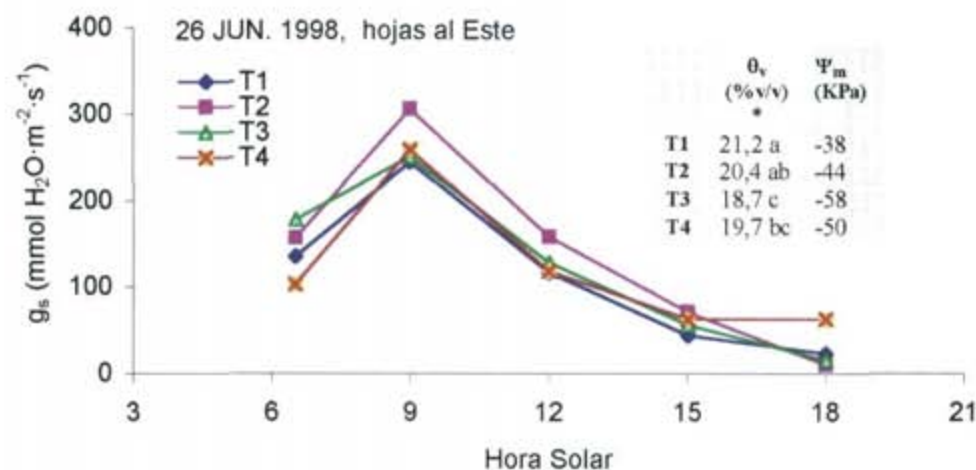


Figura III.47. Evolución de la conductancia estomática (g_s) a lo largo del 26 de junio de 1998 en hojas adultas situadas en la cara Este de la espaldera

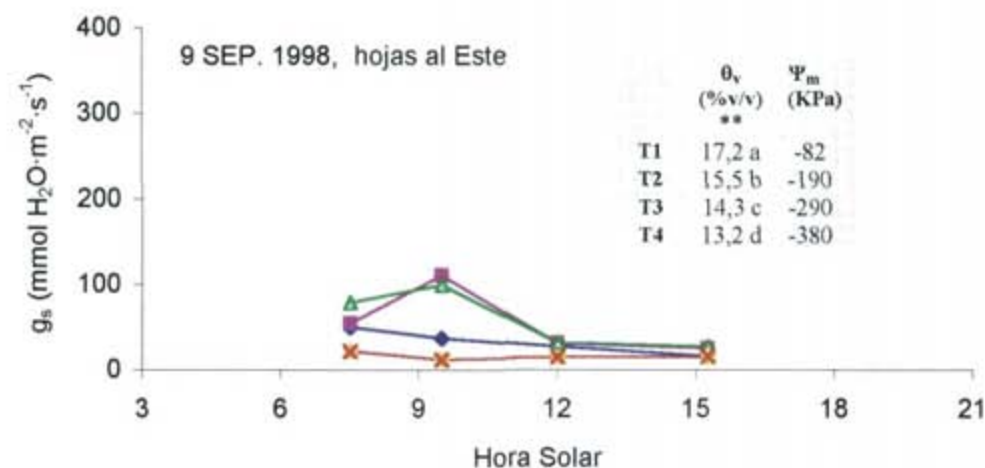


Figura III.48. Evolución de la conductancia estomática (g_s) a lo largo del 9 de septiembre de 1998 en hojas adultas situadas en la cara Este de la espaldera

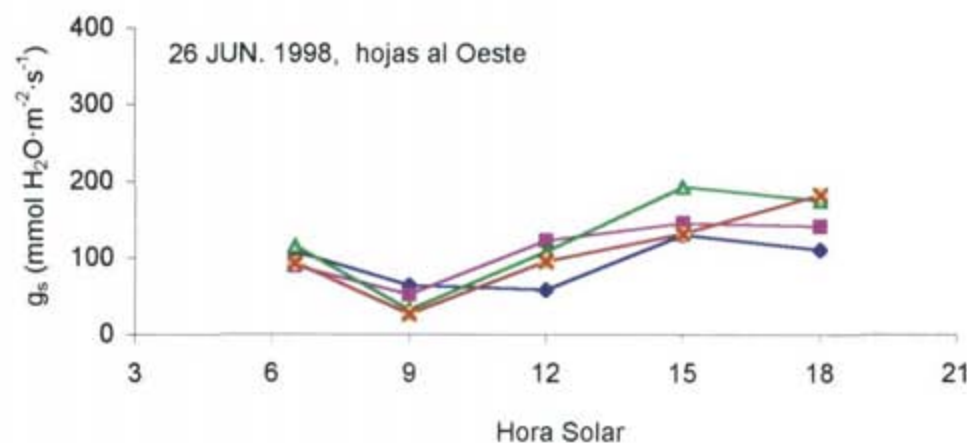


Figura III.49. Evolución de la conductancia estomática (g_s) a lo largo del 26 de junio de 1998 en hojas adultas situadas en la cara Oeste de la espaldera

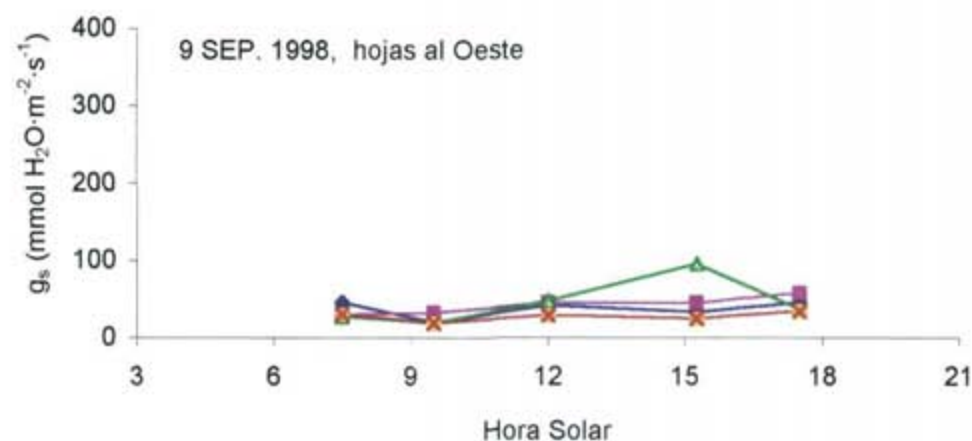


Figura III.50. Evolución de la conductancia estomática (g_s) a lo largo del 9 de septiembre de 1998 en hojas adultas situadas en la cara Oeste de la espaldera

3.3 RELACIÓN ENTRE LAS CONDUCTANCIAS MÁXIMA AL ESTE (9 hs) Y AL OESTE (15 hs) DE LA ESPALDERA.

Si para diferentes condiciones de régimen hídrico y momento del ciclo, se comparan las conductancias estomáticas máximas medidas en las mismas cepas por la mañana al Este y por la tarde al Oeste, se pone de manifiesto que hay una significativa relación lineal entre la medida a las 9 hs al este y la realizada a las 15 hs en la cara opuesta, siendo ésta aproximadamente un 75% de la primera (**figura III.51**).

En la **figura III.52** aparece reflejada la relación también lineal entre el gradiente de presión de vapor entre la hoja y el aire (DPV) a las 9 hs al este y a las 15 hs al Oeste. El último es entre 60% y 70% superior que el de la mañana, para el rango de valores medidos. Esta diferencia explica la existente entre las conductancias estomáticas en ambas circunstancias (Kramer y Boyer, 1995; Düring, 1976 y 1979).

La disminución de la abertura estomática por la tarde agrava las diferencias en cuanto a la producción de fotoasimilados entre los planos Este y Oeste de la espaldera, si tenemos en consideración que las hojas al Oeste presentaban tasas de fotosíntesis neta muy inferiores a las de las hojas del Este para la misma conductancia, tal y como se pone de manifiesto en la **figura III.45**. La consecuencia de ello, es que en viñedos continuos con filas orientadas Norte-Sur, la aportación de asimilados durante la tarde por parte de la cara Oeste, será sensiblemente inferior que la realizada por la superficie foliar al este durante la mañana. Por tanto, la eficiencia en el uso del agua expresada como A/g_s , también será mucho más reducida por la tarde en la cara Oeste. Así por ejemplo, si g_s al este a las 9 hs alcanza $300 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, A será $16,3 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, y esos valores se verán reducidos a las 15 hs al Oeste a $220,5 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ y $9,5 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente. Es decir, mientras que g_s sería un 25% más reducido a las 15 hs al Oeste, A disminuiría en más de un 40%. Cuando las cepas están más estresadas –menor contenido de θ_v en el suelo- y por tanto los estomas se hallan más cerrados ya a las 9 hs al Este, (por ejemplo g_s $100 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ y $A = 10,3 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) entonces la diferencia en g_s y A respecto de las hojas del Oeste a las 15 hs es proporcionalmente mayor –decrementos entorno al 30% y 50%, respectivamente-, aunque las disminuciones en valor absoluto que experimentan estas variables sean menos importantes.

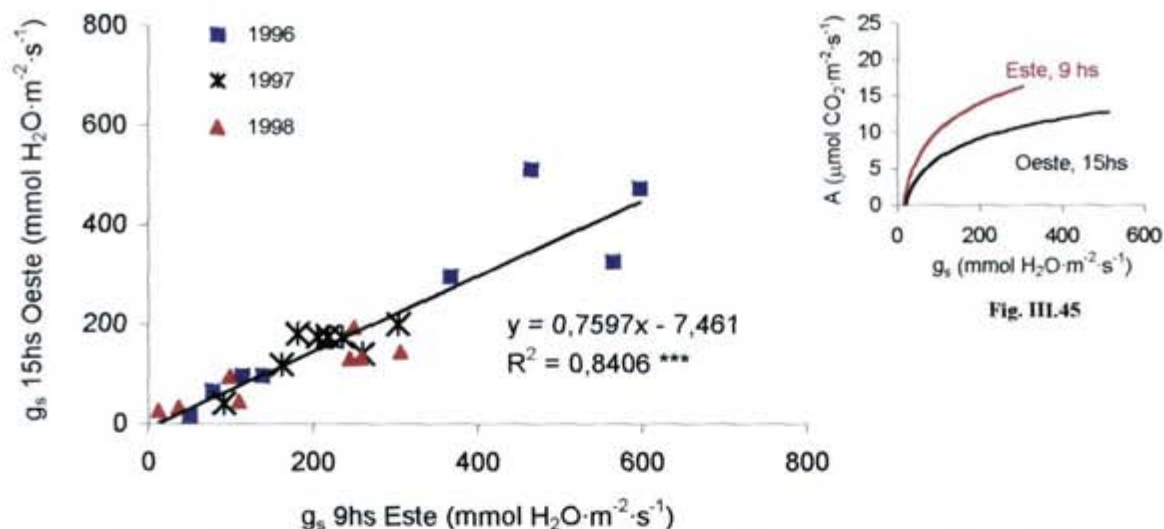


Figura III.51. Relación entre la conductancia estomática (g_s) a las 9 hs en hojas bien iluminadas situadas en la cara Este de la espaldera y la que se produce a las 15 hs en hojas bien iluminadas de la cara Oeste. Cada punto se corresponde con la media de un tratamiento en una fecha determinada. Se hallan representados todos los tratamientos en diversos momentos del ciclo en cada uno de los tres años de estudio

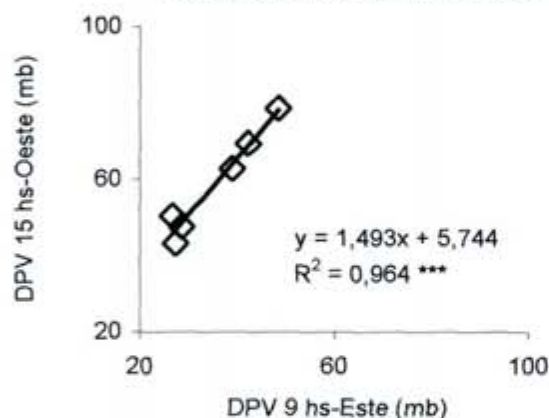


Figura III.52. Relación entre el déficit de presión de vapor (DPV) medido al este de la espaldera a las 9 hs y el del oeste a las 15 hs. Cada punto se corresponde con la media de los valores medidos en una fecha determinada. Se encuentran representados distintos momentos de la campaña, para cada uno de los tres años del ensayo

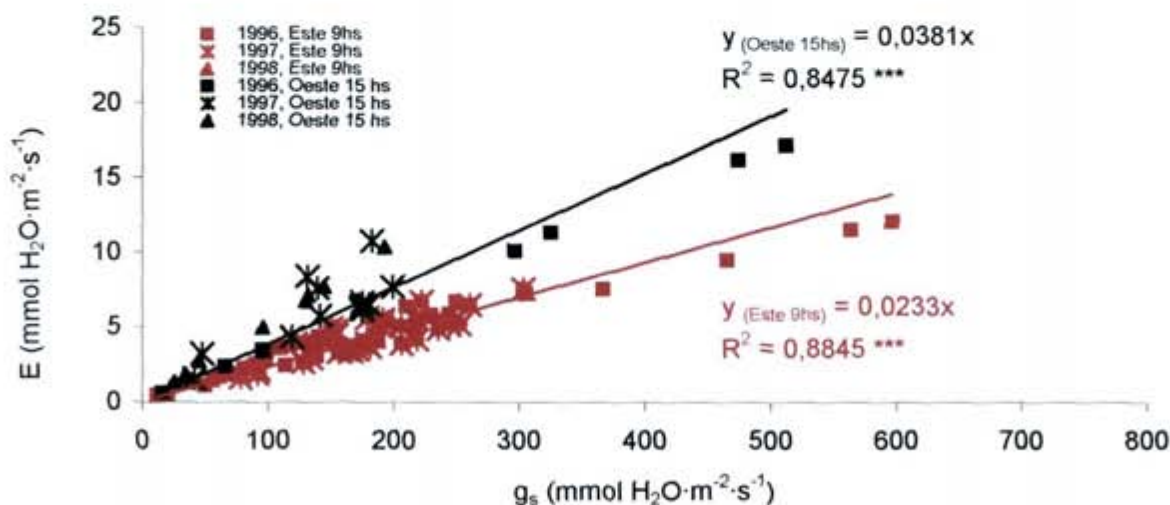


Figura III.53. Relación entre la tasa de transpiración (E) y la conductancia estomática (g_s) en dos situaciones diferentes: cara este de la espaldera a las 9 hs y cara oeste a las 15 hs. Cada punto representado corresponde a la media de un tratamiento en un día determinado, a la hora y en la orientación de la espaldera que se especifica en la leyenda. Se encuentran representados todos los tratamientos en diversos momentos del ciclo comprendidos entre cuajado y vendimia para los tres años del ensayo (1996-98)

3.4 RELACIÓN ENTRE LA TASA DE TRANSPIRACIÓN Y LA CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA

En la **figura III.53** se presentan las relaciones entre E y g_s en hojas exteriores de la cara Este a las 9 hs y de la cara Oeste a las 15 hs, con datos correspondientes a todos los tratamientos y en diversos momentos del ciclo de los tres años del estudio. En ambos casos, el ajuste altamente significativo entre las dos variables fue lineal ($E = m \cdot g_s$) y presentaba coeficientes de determinación muy elevados ($R^2= 0,88$ para hojas al Este-9 hs y $R^2= 0,85$ para hojas al Oeste-15 hs), como cabía esperar, por ser la transpiración un fenómeno que difiere de la evaporación en que el escape de vapor de agua está controlado, en un grado considerable, por las resistencias foliares a la difusión (Azcon-Bieto y Talon, 1996). Las dos rectas de regresión pasan por el origen, pero sus pendientes (m) son muy distintas: para hojas al Oeste-15hs la pendiente es más de un 60% superior que para hojas al Este-9 hs. Como para una conductancia estomática dada es el déficit de presión de vapor entre la hoja y el aire el que determina la tasa de transpiración (Kramer y Boyer, 1995), la relación entre el DPV medido a las 9hs-Este y 15hs-Oeste sería teóricamente del mismo tipo y magnitud que la existente entre las transpiraciones en esas circunstancias, como de hecho sucede (**figura III.52**).

Aunque la tasa de transpiración sería más elevada por la tarde al Oeste que por la mañana al Este a igualdad de conductancia, esa diferencia se ve limitada en la práctica al encontrarse los estomas más cerrados en la cara Oeste por la tarde, como ya se comentó en el apartado 3.3 de este capítulo. Aún así, las tasas máximas de transpiración al Oeste son superiores siempre que al Este, como pone de manifiesto la **tabla III.2**. En ella se muestra un conjunto de valores de conductancia y tasa de transpiración en ambas situaciones, obtenidos a partir de las rectas de regresión de las **figuras III.51 y III.53**.

Tabla III.2. Correspondencia entre valores de conductancia estomática (g_s) y tasa de transpiración (E) en hojas exteriores de la espaldera a las 9 hs en el plano Este y a las 15 hs en el plano Oeste, a lo largo del mismo día. Cifras extractadas de las Figuras III.51 y III.53, en $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

g_s		E	
<i>Este – 9 hs</i>	<i>Oeste–15 hs</i>	<i>Este – 9 hs</i>	<i>Oeste–15 hs</i>
100	68,5	2,3	2,6
200	144,5	4,7	5,5
300	220,5	7,0	8,4
400	296,4	9,3	11,3
500	372,4	11,7	14,2

3.5 EVOLUCIÓN DE LA FOTOSÍNTESIS MÁXIMA DIARIA A LO LARGO DE LA CAMPAÑA

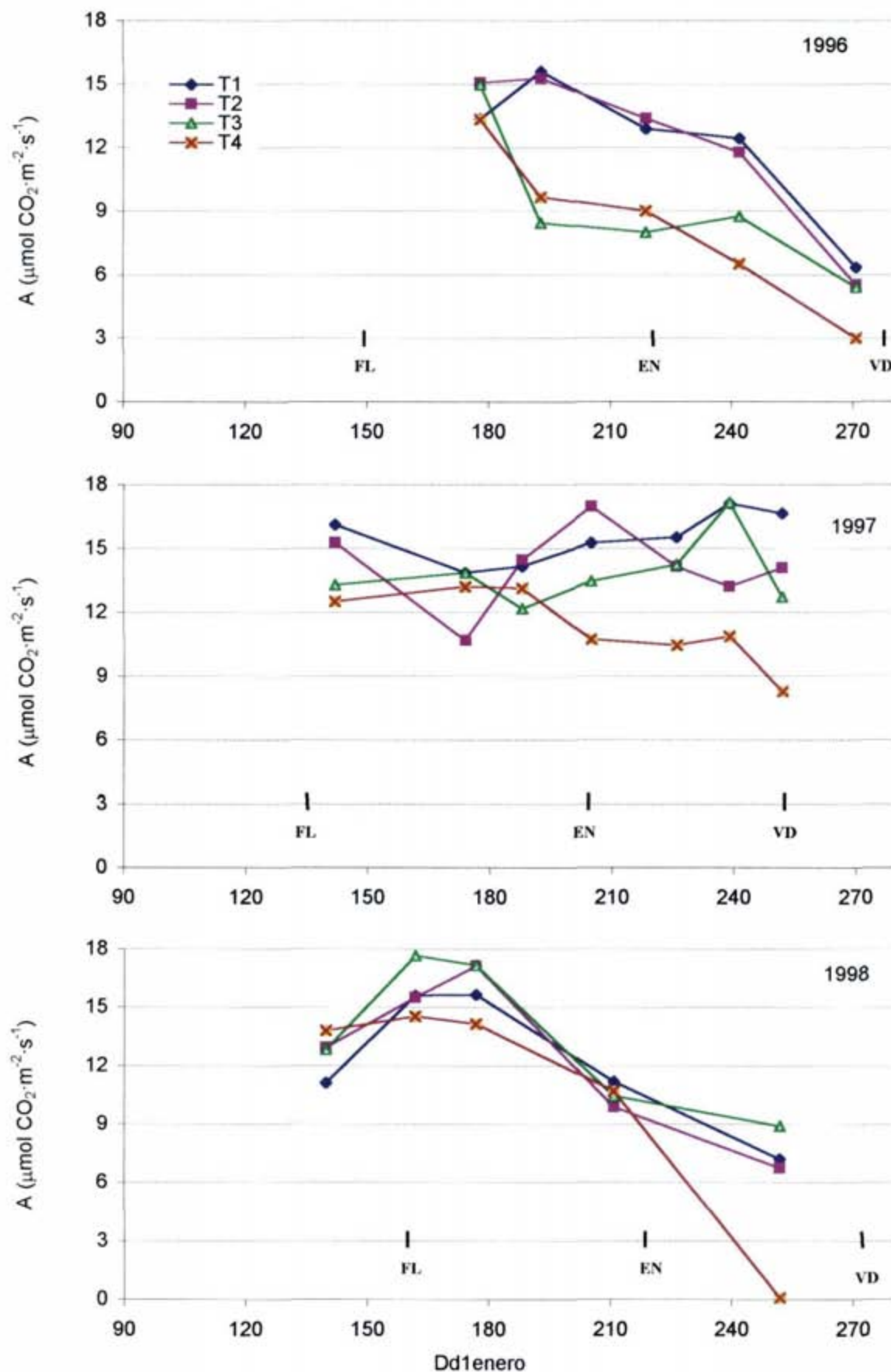
La evolución estacional de la tasa máxima diaria de fotosíntesis neta ($A_{\text{máx}}$) –que en las condiciones del ensayo se produce en la cara este de la espaldera y a las 9 hs- queda representada gráficamente en las **figuras III.54-56** para los años 1996-98, respectivamente.

En las campañas '96 y '98 los valores más elevados de $A_{\text{máx}}$ se produjeron para todos los tratamientos durante el mes de junio, entre floración y los estadios iniciales de desarrollo de la baya. En concreto, las tasas que alcanzaron los distintos tratamientos en esas fechas oscilaron entre 15,6 y 13,4 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ en 1996 y 17,7 y 14,5 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ en 1998, correspondiendo los valores más bajos a las cepas del secano. Con posterioridad a ese período, $A_{\text{máx}}$ experimentó una evolución decreciente en todos los tratamientos ambos años. Cabe matizar que en 1996, a partir de ese máximo, se separaron las tendencias de T1 y T2, respecto de las de T3 y T4, reduciéndose en estos últimos $A_{\text{máx}}$ de forma muy acusada (entorno a un 40% para T3 y 30% para T4, en sólo dos semanas), mientras que para los tratamientos con mayor dotación hídrica la disminución fue mucho más ligera y paulatina. En ese mismo año se produjo una caída general de $A_{\text{máx}}$ al final de maduración, -coincidiendo con el corte de suministro de riego tres semanas antes de vendimia-, que fue especialmente pronunciada para los tratamientos que habían venido recibiendo más dosis de agua (T1 y T2).

En cuanto a 1998 (**figura III.56**), todos los regímenes hídricos experimentaron una disminución importante de $A_{\text{máx}}$ con posterioridad al cuajado, presentando valores parecidos entre sí cerca del envero –en torno a 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ -. Durante el período de maduración, los tratamientos regados mantuvieron aproximadamente el mismo ritmo de decrecimiento de asimilación neta, sin embargo ésta llegó a hacerse nula para el secano.

En la campaña '97 (**figura III.55**) la fisiología a nivel de hoja presentó peculiaridades importantes con relación a los otros dos años de ensayo (**figuras III.54 y 56**). Así por ejemplo, todos los tratamientos regados mantuvieron tasas muy altas de asimilación neta durante toda la temporada, e incluso alcanzaron máximos absolutos del año en el período de maduración (17 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ para T1 y T3). También las cepas del secano mostraron tasas muy buenas hasta 15 días antes del envero (con cerca de 13 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). Posteriormente éstas se redujeron algo, distanciándose de las asimilaciones netas alcanzadas por los tratamientos regados, pero fueron en cualquier caso muy superiores a las registradas los otros dos años durante el período de maduración. Estas diferencias entre la segunda campaña del ensayo y los años 1996 y 1998 se deben a que los contenidos de agua en el suelo

en el '97 también se mantuvieron en general a niveles superiores hasta más avanzado el verano (**apartado III.2.1**), lo cual permitió que las conductancias estomáticas fueran mayores y por tanto la fotosíntesis, como se explica en los **apartados III.3.1 y 3.2**.



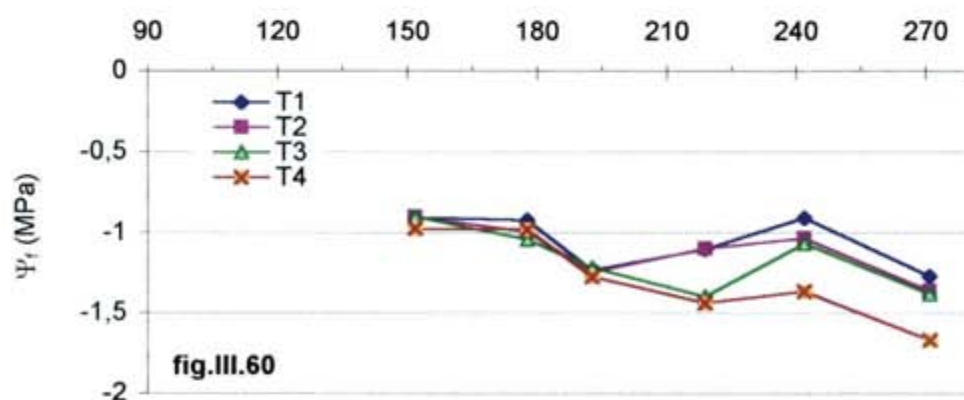
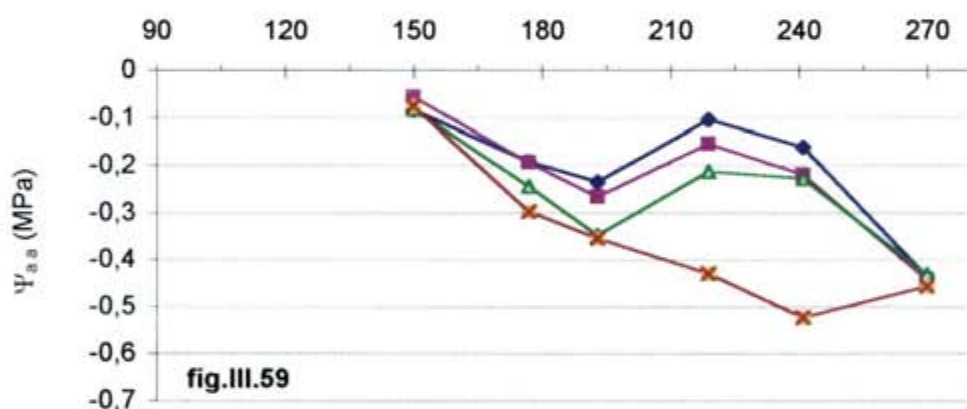
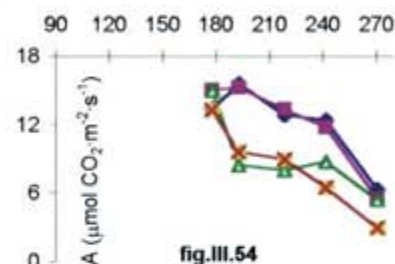
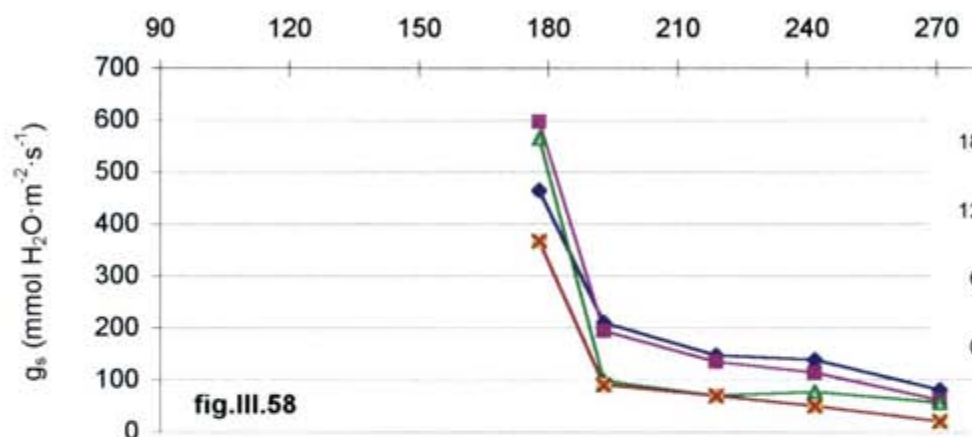
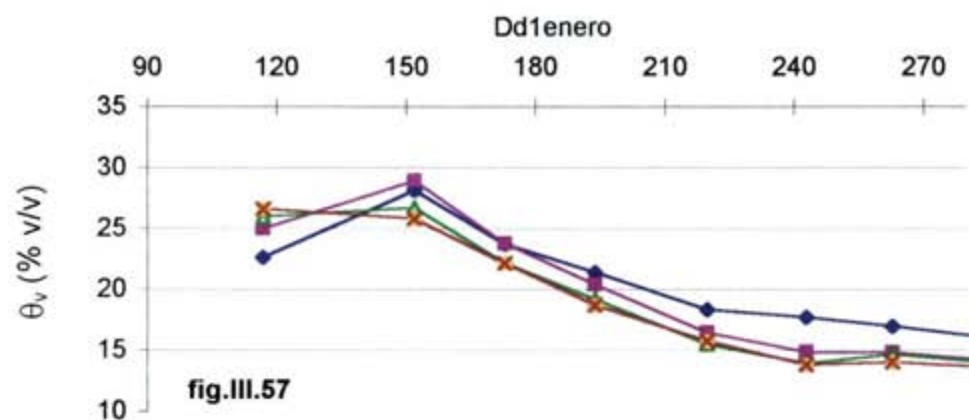
Figuras III. 54-56. Evolución estacional de la tasa máxima diaria de fotosíntesis neta (A_{\max}) de los diferentes tratamientos experimentales en los años 1996-98, respectivamente

3.6 VALORACIÓN DEL POTENCIAL FOLIAR Y LA CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA COMO INDICADORES DE ESTRÉS HÍDRICO

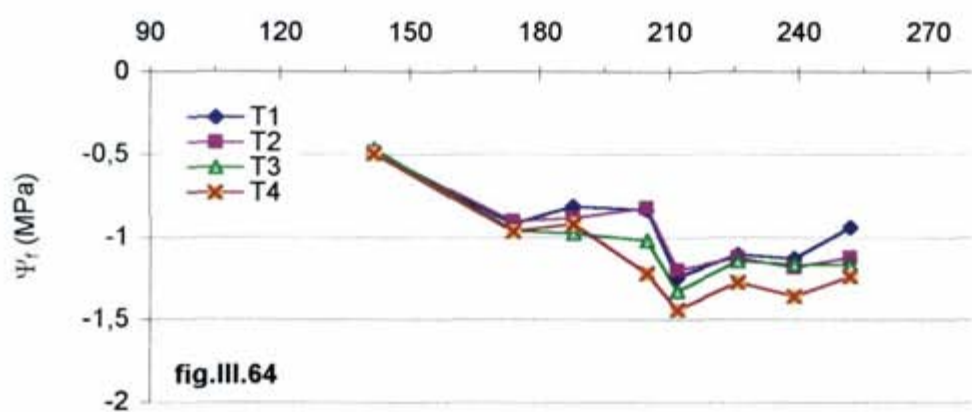
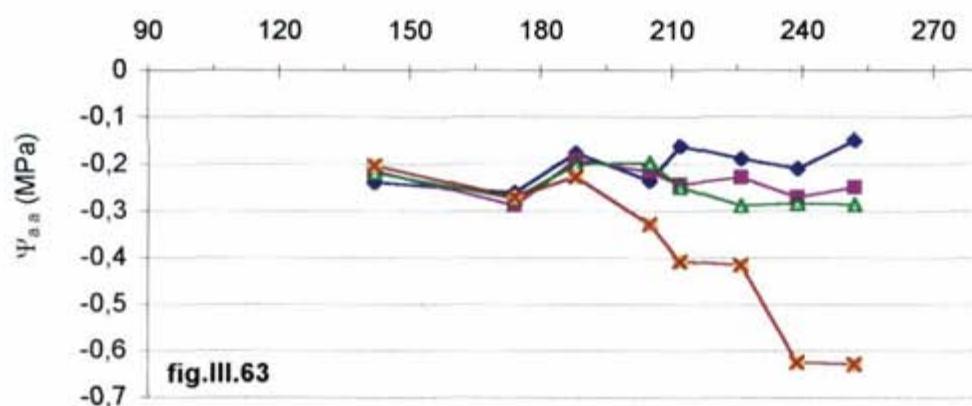
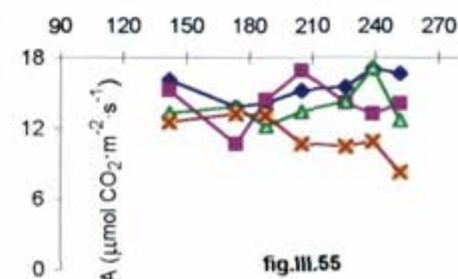
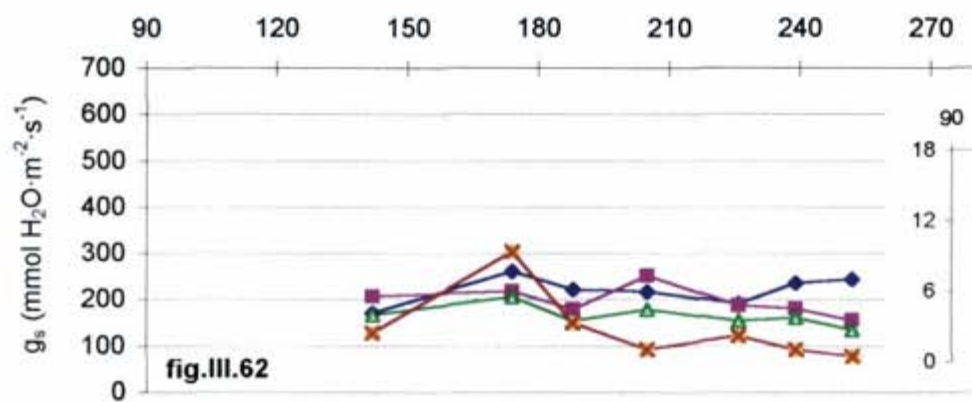
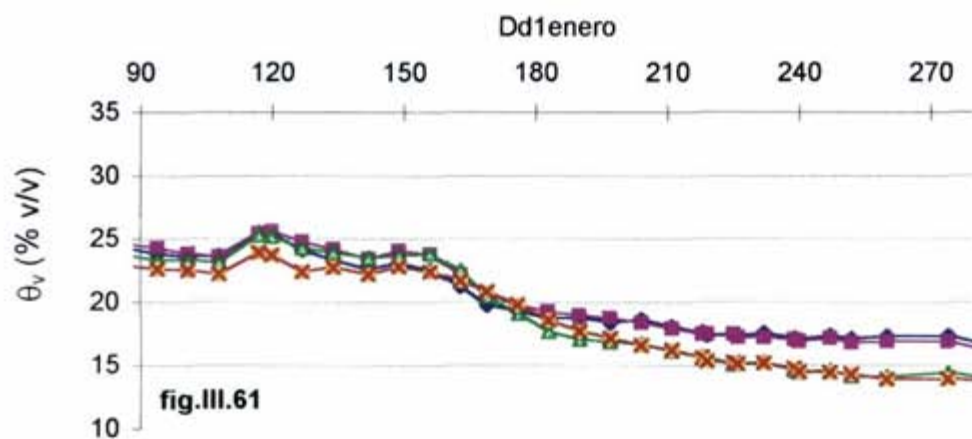
A partir de la información de que se disponía en el presente estudio, se ha realizado una crítica de la validez del potencial hídrico foliar de base ($\Psi_{a.a}$) y de la conductancia estomática (g_s) como indicadores de estrés hídrico según la intensidad del mismo. Se han denominado como **etapas I, II y III** a diferentes estados de estrés hídrico creciente por los que puede atravesar una planta de vid cultivada en condiciones típicas de entorno mediterráneo.

3.6.1 ETAPA I

En climas como el nuestro, de tipo mediterráneo, los contenidos de humedad del suelo en primavera van disminuyendo lenta y a menudo intermitentemente (Pereira y Chaves, 1993), pero suelen ser suficientes para atender de manera adecuada la demanda hídrica de la vid en ese período (Dry y Loveys, 1998). De acuerdo con ello, se ha encontrado en el presente estudio que al mejorar las condiciones ambientales y de edad de las hojas para el intercambio de gases, fue creciente la tendencia de la conductancia estomática y de la tasa de fotosíntesis entre los días 20 de mayo (día 140) y 26 de junio (día 177) de 1998, a pesar de que los contenidos de humedad del suelo estaban disminuyendo (**figuras III. 65, 66 y 56**). Los potenciales hídricos foliares antes del amanecer y diurnos sí que reflejaron, sin embargo, esa reducción paulatina de θ_v , decreciendo ellos también (**figuras III.67-68**). El potencial hídrico foliar —y no la conductancia estomática— constituyó por tanto el primer indicador, en cuanto a fisiología de la hoja, de que estaba disminuyendo la disponibilidad de agua en el suelo. No obstante, según diversos autores (Pereira y Chaves, 1993; Carbonneau, 1998), los potenciales foliares de base alcanzados en ese período indicarían una situación de “no estrés hídrico”, ya que fueron siempre superiores a $-0,2$ MPa. Se presentan igualmente las figuras análogas para 1996 y 1997 (**figuras III.57-60** para 1996 y **figuras III.61-64** para 1997). Sin embargo ninguno de esos dos años sirven para ejemplificar esta situación inicial de “no estrés hídrico” en el viñedo. En 1996, ello se debe a que la primera medición de conductancia estomática y tasa de fotosíntesis se efectuó el 26 de junio, cuando el contenido de humedad del suelo ya se había reducido de forma importante, con el decremento consiguiente de los potenciales foliares de base, y además las condiciones ambientales y de edad de las hojas eran ya óptimas para la asimilación de CO_2 , por lo que no se tiene constancia de la progresión creciente de ambos parámetros durante la primavera. En el caso de 1997, año en que las precipitaciones fueron muy escasas en primavera, ya en la primera fecha en que se midieron parámetros fisiológicos a nivel de hoja (día 142), el $\Psi_{a,a}$ se hallaba por debajo de $-0,2$ MPa para todos los tratamientos experimentales, lo que indicaría que ya se daban condiciones de estrés moderado en esa fecha (Carbonneau, 1998).

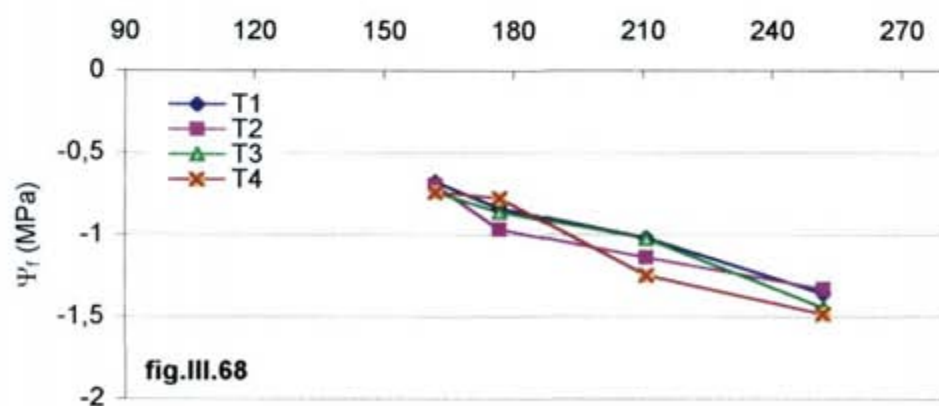
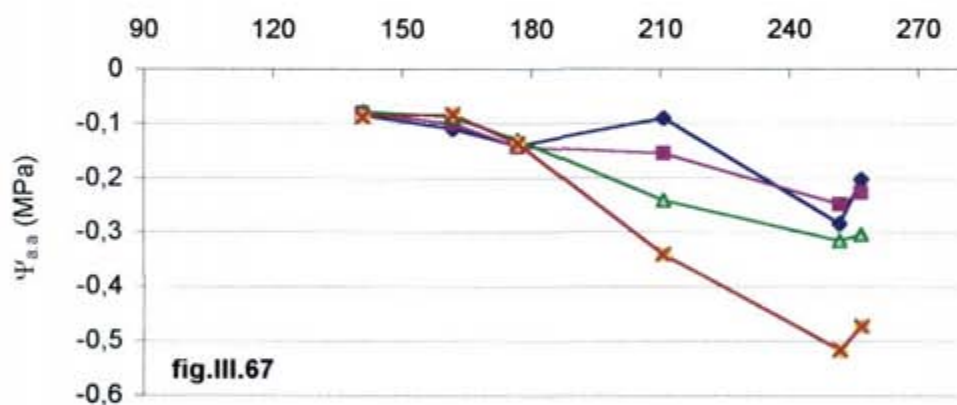
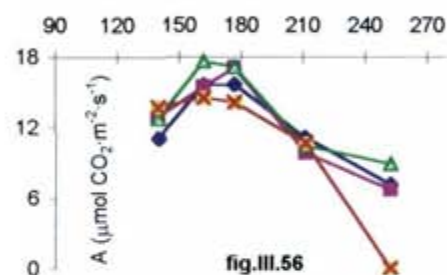
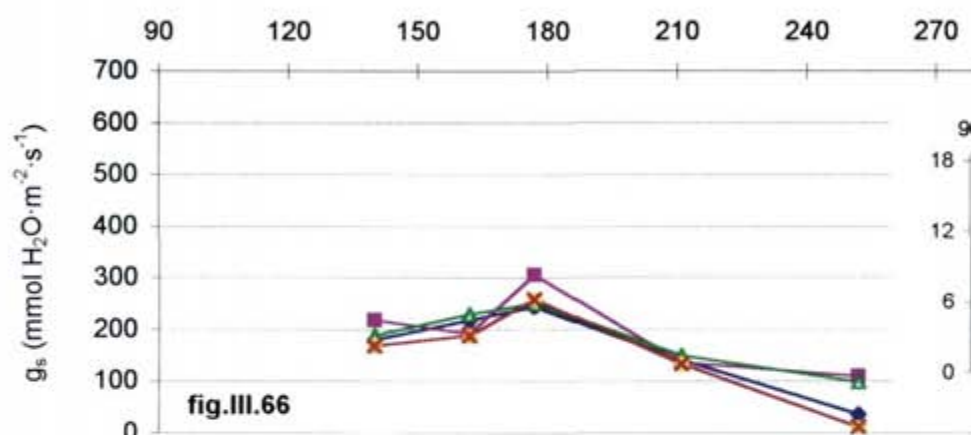
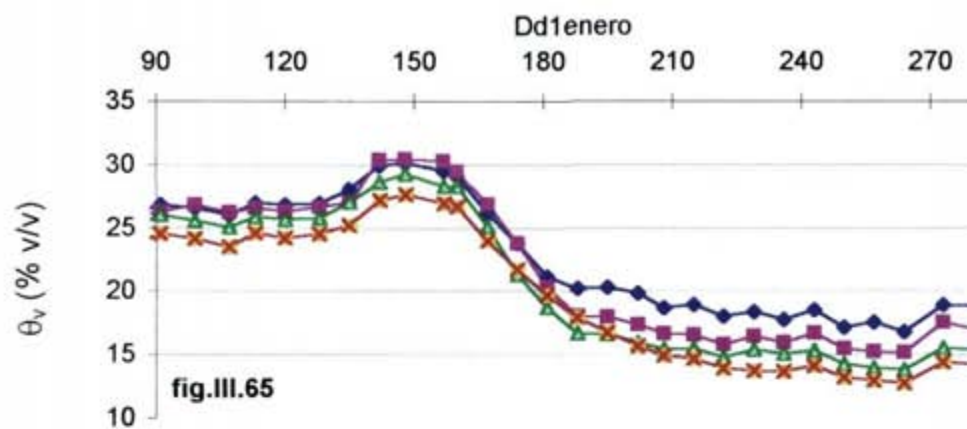


Figuras III.57-60. Confrontación de la evolución estacional en 1996 del contenido medio de humedad del suelo (θ_v), de la conductancia estomática (g_s) y potencial hídrico foliar (Ψ_t) a las 9 hs en hojas externas al Este de la espaldera, así como del potencial hídrico foliar de base (Ψ_{sa})



Figuras III.61-64. Confrontación de la evolución estacional en 1997 del contenido medio de humedad del suelo (θ_v), de la conductancia estomática (g_s) y potencial hídrico foliar (Ψ_r) a las 9 hs en hojas externas al Este de la espaldera, así como del potencial hídrico foliar de base ($\Psi_{a,a}$)

1998

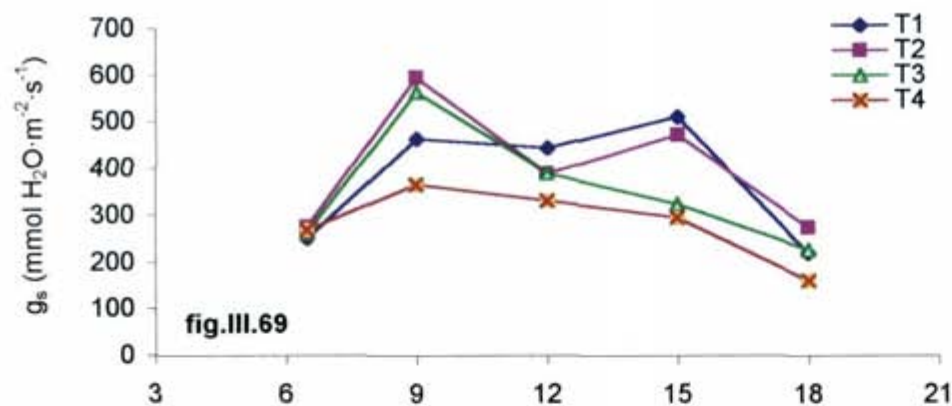


Figuras III.65-68. Confrontación de la evolución estacional en 1998 del contenido medio de humedad del suelo (θ_v), de la conductancia estomática (g_s) y potencial hídrico foliar (Ψ_r) a las 9 hs en hojas externas al Este de la espaldera, así como del potencial hídrico foliar de base ($\Psi_{a,a}$)

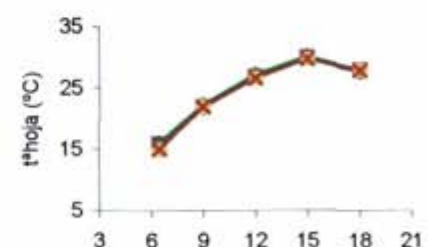
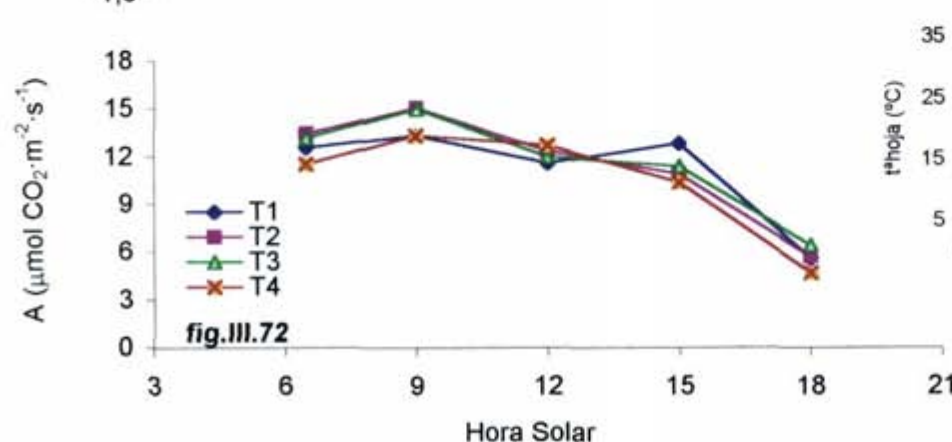
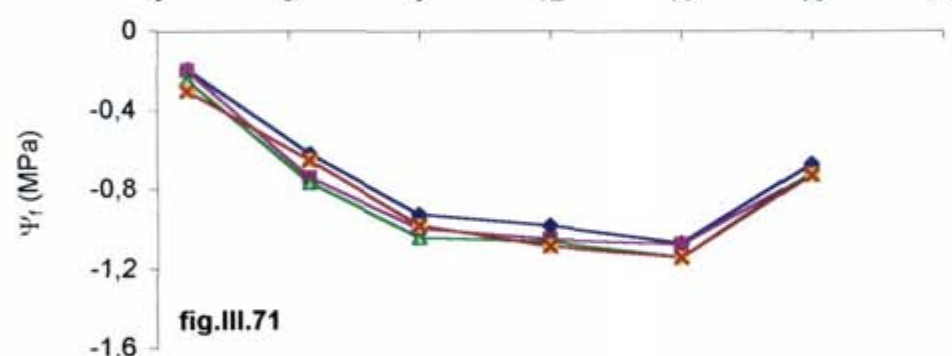
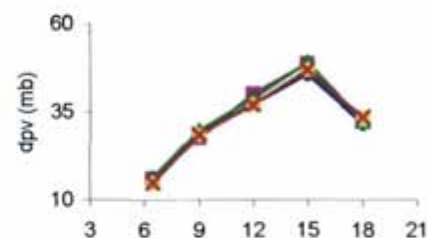
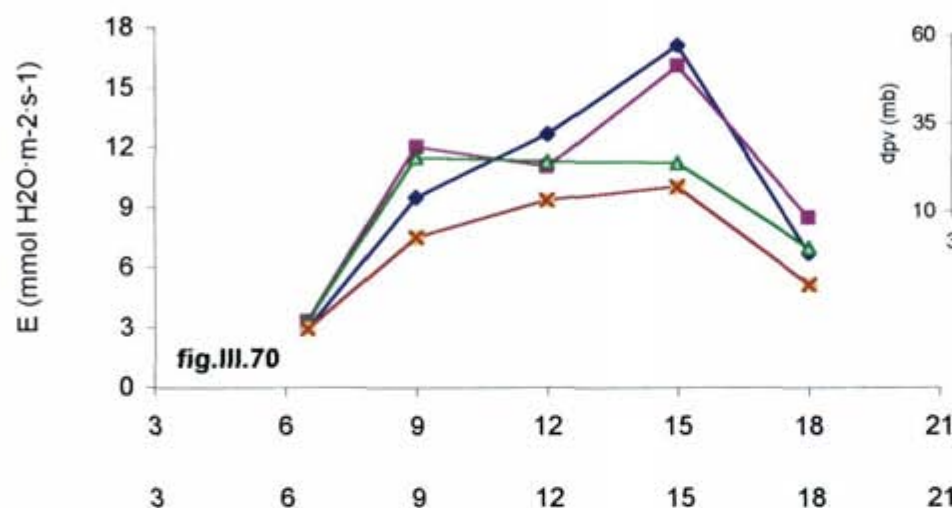
3.6.2 ETAPA II

Cuando el agua existente en el suelo no es suficiente para mantener un flujo a través de las raíces que evite la disminución del potencial hídrico de las mismas, se produce en ellas señales químicas (ABA) que llegan a través de la savia del xilema a las hojas, reduciendo la abertura estomática (Düring, et al., 1996). Este es un mecanismo de aclimatación de la planta a déficits hídricos crecientes, puesto que evita su deshidratación (Pereira y Chaves, 1993), así como fenómenos de cavitación. Ese cierre estomático permitiría además que la evolución diurna del Ψ_f sea similar entre plantas que sufren estrés hídrico y las que no lo padecen (Pereira y Chaves, 1993), o entre vides que experimenten diferentes niveles de estrés hídrico, como reflejan las **figuras III.69-72**. En estos gráficos se presenta la evolución, a lo largo del 26 de junio de 1996 de g_s , E , Ψ_f y A , respectivamente, en hojas exteriores situadas en cada momento en la cara más iluminada de la espaldera (**apartado II.5.1**), para los diferentes tratamientos experimentales. Con ellas se pone de manifiesto que la planta es capaz de regular su cesión de agua a la atmósfera mediante modificaciones en la abertura estomática, que permiten que la transpiración se ajuste a la disponibilidad de agua en el suelo y que los potenciales hídricos foliares de los diferentes regímenes hídricos presenten evoluciones diurnas similares. Así, el contenido más bajo de humedad del suelo para los tratamientos T3 y T4, en comparación con T1 y T2, da lugar a conductancias estomáticas menores para aquéllos (T3 y T4) y, por tanto, a tasas transpiratorias también más reducidas, permitiendo ese ahorro de agua que la evolución diurna de sus potenciales hídricos foliares sea similar a la de T1 y T2. Debido al tipo de relación existente entre A y g_s (**figura III.45**), las tasas de fotosíntesis de T3 y T4 se verían, en esta situación de estrés hídrico moderado, apenas perjudicadas por la mencionada reducción de la conductancia estomática (**figura.III.69**), ya que los niveles de humedad del suelo permiten conductancias suficientemente elevadas como para mantener tasas altas de fotosíntesis (**figuras III.44-45**).

La reducción de la abertura estomática provocada por condiciones de estrés hídrico moderado puede originar que los potenciales hídricos foliares de base no sólo no disminuyan sino que se mantengan o aumenten y análogamente puede suceder con la evolución de los potenciales foliares a las 9 hs (**figuras III.58-60, III.62-64 y III.66-68**). Por lo tanto, ni el potencial foliar en distintos momentos del día (como pone de manifiesto la **figura III.71**), ni la marcha estacional de los potenciales foliares antes del amanecer o a las 9 hs, son indicadores fiables del déficit hídrico que padece la planta en condiciones de estrés moderado.



26 JUN. 1996



Figuras III.69-72. Evolución a lo largo del 26 de junio de 1996 de la conductancia estomática (g_s), tasa de transpiración (E), potencial hídrico foliar (Ψ_l) y tasa de fotosíntesis (A) de hojas exteriores dispuestas en el plano más iluminado de la espaldera en ese momento del día

El que los potenciales foliares leídos sean mayores, menores o iguales que en fechas previas viene determinado por diversos factores como: el flujo de agua del suelo a través de la planta, la magnitud de la disminución en la conductancia estomática que han experimentado las cepas, el déficit de presión de vapor y el número de días transcurridos entre la reducción de la abertura estomática y la medición del potencial hídrico foliar. Como ponen también de manifiesto las Figuras que muestran la evolución estacional (**figuras III.58, 62 y 66**) o diaria (**figura III.69**) de la conductancia estomática, ésta sería un indicador más fiable que el potencial hídrico foliar en condiciones de estrés moderado. En cualquier caso, es claro que en caso de producirse un aumento de los potenciales foliares antes del amanecer o diarios, éste es posible por la reducción de la abertura estomática previa.

3.6.3 ETAPA III

Cuando el estrés hídrico se prolonga, si el aporte de agua al suelo (lluvia y/o riego) es insuficiente (Kramer y Boyer, 1995): tanto el potencial hídrico foliar antes del amanecer como los valores que alcanza a lo largo del día, vuelven a disminuir y en el caso de las cepas en secano de forma muy importante. Esto se debería a que la conductancia estomática, aunque baja, estaría permitiendo una pérdida de agua por transpiración que no llegaría a recuperarse con la absorbida por las raíces. En esta situación, la abertura de los estomas no es tampoco suficiente para mantener las tasas de fotosíntesis (**figuras III.44 y 45**) y podemos calificar al estrés hídrico de severo (**figuras III.54-68**). No obstante, la relación que predice A a partir de g_s presenta un coeficiente de correlación mucho más elevado que la que lo hace a partir de $\Psi_{a.a.}$, lo cual indicaría que la conductancia estomática es mejor indicador de estrés hídrico que el potencial foliar de base.

3.7 INTEGRAL DE ESTRÉS HÍDRICO

3.7.1 RELACIÓN ENTRE EL AGUA RECIBIDA POR EL VIÑEDO Y LA INTEGRAL DE ESTRÉS HÍDRICO

La **figura III.73** refleja la influencia del agua recibida por los distintos tratamientos entre desborre y vendimia, sobre la integral de estrés entre floración y vendimia. En ella se encuentran representadas las tres campañas del ensayo.

Puesto que la reserva del suelo a fecha de desborre era similar para los distintos tratamientos y años, las diferencias entre ellos en cuanto al volumen recibido de riego y precipitación efectiva serían responsables de las discrepancias en disponibilidad de agua.

Es destacable el buen ajuste lineal existente entre ambas variables (con coeficientes de determinación superiores a 0,95). Como se aprecia en la **figura III.73**, el aporte de agua de riego, aun a la dosis más baja ($Kc_3 = 0,15$), repercutió muy positivamente en la integral de estrés, siendo diferente la recta de regresión para el tratamiento de secano que para el conjunto de los tratamientos regados. Ello se explica porque, aunque se califique como “efectiva” a la precipitación que no se pierde por evaporación directa del suelo o de las hojas, lo es menos que si ese mismo volumen de agua se distribuyera mediante el riego por goteo, es decir: a intervalos regulares, en dosis no excesivas pero suficientes para generar un bulbo húmedo de tamaño adecuado y de forma acompasada con la marcha de la demanda atmosférica. Como en este caso es mejor la disponibilidad media del agua del suelo durante la campaña, ello repercute positivamente en la intensidad y duración del estrés que padecen las cepas.

3.7.2 RELACIÓN ENTRE LA INTEGRAL DE ESTRÉS HÍDRICO Y EL LAI FINAL

La **figura III.74** presenta la relación entre el índice de área foliar en vendimia y la integral de estrés entre floración y vendimia, para los distintos tratamientos y años de ensayo. Al igual que Ginestar, et al. (1998a) hemos encontrado una relación lineal decreciente entre ambas variables. Cabría objetar a estos resultados que el número de pámpanos que vegetaron por cepa difería entre tratamientos, lo cual puede influir en el área foliar de la planta. Sin embargo, si nos fijamos en los resultados de los tres años correspondientes a un único tratamiento, vemos que sus puntos en el gráfico no son coincidentes, sino que se distribuyen a

lo largo de la recta de regresión, siendo mayor el LAI en vendimia cuanto menor fue la integral de estrés en floración-vendimia. Por tanto, existe un efecto de la integral de estrés sobre el LAI final. Es destacable, finalmente, que una vez más el tratamiento de secano se distanció mucho de los regados.

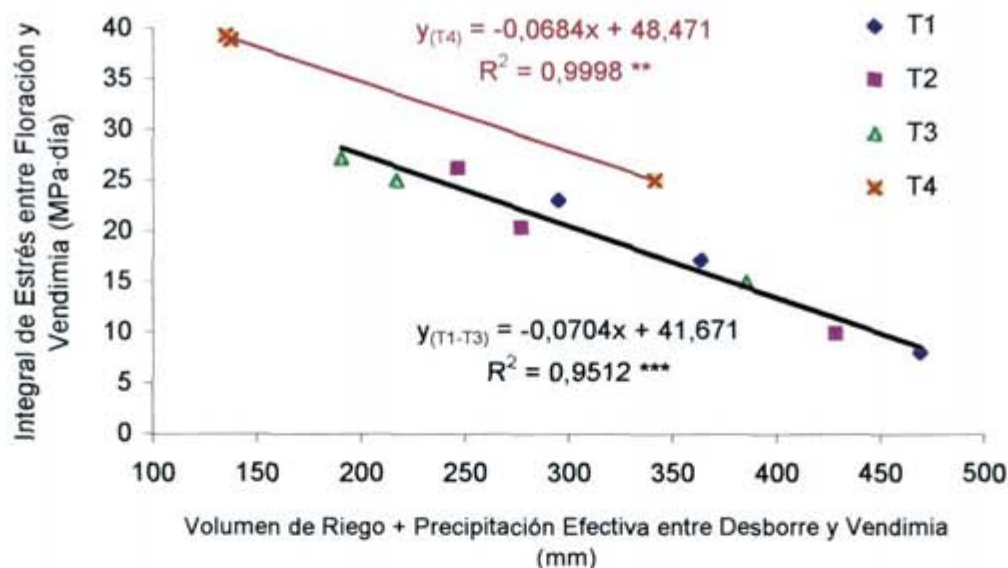


Figura III.73. Influencia del volumen de agua recibido durante la campaña por los distintos tratamientos experimentales -a través del riego y las precipitaciones- sobre la integral de estrés entre floración y vendimia. Se encuentran representados todos los tratamientos en los tres años del estudio (1996-98). Cada punto corresponde a la media de cuatro repeticiones por tratamiento experimental y campaña

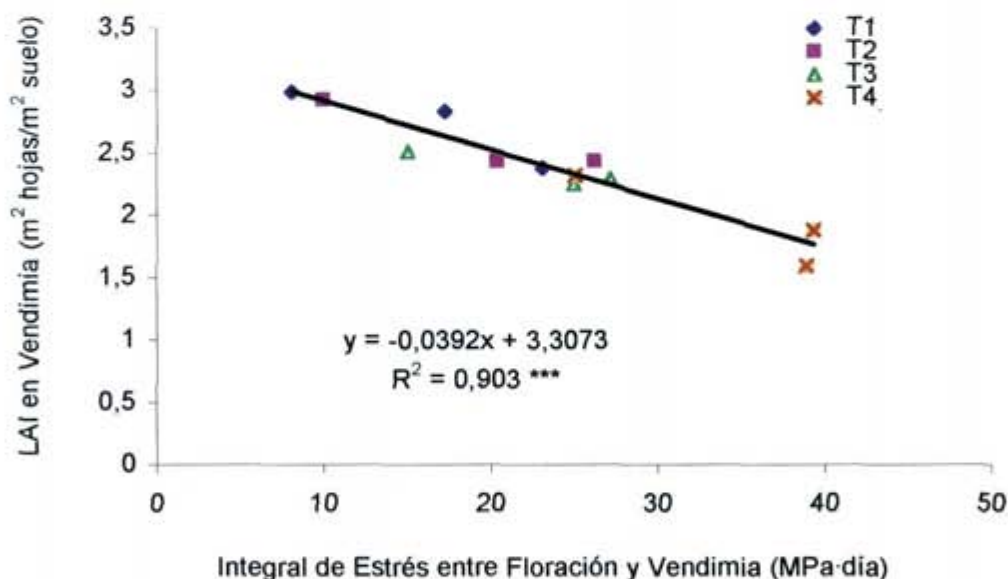


Figura III.74. Relación entre la integral de estrés en el período floración-vendimia y el índice de área foliar (LAI) en vendimia. Se encuentran representados todos los tratamientos en los tres años del estudio (1996-98). Cada punto corresponde a la media de cuatro repeticiones por tratamiento experimental y campaña

4. CONSUMO DE AGUA DEL SUELO (ET)

En las **figuras III.75-77** se presentan las evoluciones estacionales de la evapotranspiración de referencia (ET_o) y del consumo del viñedo (ET) medios diarios para cada tratamiento, en 1996-1998, respectivamente.

Asimismo, en las **tablas III.3-5** se especifica la ET_o y ET diarias medias para cada uno de los tratamientos en los periodos comprendidos entre diferentes estados fenológicos, así como el análisis de varianza en cada uno de esos intervalos y la separación de medias a través del test de Duncan. Análogamente, en las **tablas III.6-8** aparecen los coeficientes de cultivo real del viñedo ($K_{\text{viñ}}$) para esos mismos intervalos. Éstos se han obtenido como ratio entre el consumo y la evapotranspiración de referencia correspondiente.

Entre desborre y floración podemos apreciar que el consumo diario medio de agua no presentó diferencias significativas entre tratamientos, oscilando su cuantía para los mismos entre 0,79-0,85 mm/día en 1996, 0,9-1,1 mm/día en 1997 y 1-1,2 mm/día en 1998 (**tablas III.3-5**). Estos bajos consumos se explican por la conjunción de demandas atmosféricas moderadas (3,4, 3,1 y 3,4 mm/día, respectivamente en 1996-98) y desarrollos foliares aún reducidos (**apartado III.1.1**). En ninguno de los años del estudio se regó durante este intervalo. No obstante, en condiciones de clima mediterráneo, el régimen de precipitaciones y la marcha de la ET_o determinan que el contenido de humedad del suelo sea elevado en esa primera etapa del ciclo de la vid (**apartado III.2.1**). Por ello, θ_v no sería un factor limitante para el consumo en esta primera etapa. Cabe añadir que aunque no se dispone de medidas de transpiración a nivel de planta completa, es esperable que el componente de evaporación de la ET sea proporcionalmente superior en este período que durante el resto de la campaña, dado que el suelo presenta niveles altos de humedad y que, como ya se ha dicho, el área foliar media en este período es menor que en las etapas posteriores del ciclo.

Tampoco existieron diferencias significativas entre tratamientos en cuanto al coeficiente de consumo real del viñedo, $K_{\text{viñ}}$, hasta floración (**tablas III.6-8**). Su valor medio en el intervalo desborre-floración osciló entre 0,23-0,25 en 1996, 0,28-0,36 en 1997 y 0,30-0,35 en 1998. Ello explica que si para dicho período se compara la pendiente media de la curva de ET_o acumulada con las pendientes de las diferentes curvas de consumo acumulado del viñedo, aquélla sea entre tres y cuatro veces superior que las últimas (**figuras III.78-80**). En la **figura III.81** se presenta la relación de tipo logarítmico, altamente significativa, entre $K_{\text{viñ}}$

y la superficie externa media para el período desborre-floración, que se ha obtenido para los diferentes tratamientos y años de estudio. Esta curva pone de manifiesto la elevada influencia de la superficie foliar externa sobre el consumo de agua por el viñedo cuando el contenido de humedad del suelo no constituye un factor limitante.

En cuanto al período comprendido **entre floración y envero**, en él se produjeron los consumos y ETo medios diarios más elevados de la campaña. Las ET diarias de los diferentes tratamientos se encontraron en los rangos 3,8-1,6 mm/día en 1996, 2,7-2 mm/día en 1997 y 3,2-2,4 mm/día en 1998 (**tablas III.3-5**) y solamente hubo diferencias significativas entre tratamientos en la campaña '96, en la que se escalonaron los consumos -y por tanto los coeficientes de consumo real- según dotaciones de riego. Dos aspectos pudieron contribuir a que en 1997 y '98 no se diferenciaron significativamente los tratamientos en cuanto al consumo diario medio durante este intervalo. En primer lugar, en esos dos años no se comenzó a regar hasta unas cuatro semanas después de la fecha de floración, por lo que durante gran parte del período floración-envero la disponibilidad de agua fue más parecida entre los diferentes tratamientos que en la campaña '96. Ello dio lugar a conductancias estomáticas más similares entre tratamientos tanto en 1997 como en 1998, en comparación con las del año '96 (**apartado III.3.1**), y análogamente sucedió con las tasas de transpiración (**apartado III.3.4**). En segundo lugar, en 1996 las diferencias entre tratamientos en cuanto a superficie foliar externa pudieron contribuir también a acentuar las diferencias en consumo hídrico, mientras que tanto en 1997 como en el '98 la evolución de la SA en floración-envero fue bastante homogénea para el conjunto del ensayo (**figuras III.14-16**).

La evolución de los parámetros recién mencionados se puede observar conjuntamente en las **figuras III.82-84**, respectivamente para 1996-98. En ellas se presenta la evolución a lo largo de cada campaña y para los diferentes tratamientos experimentales de ET, ETo, g_s , E, LAI y SA. Los coeficientes de consumo real de los diferentes tratamientos oscilaron entre 0,77 y 0,32 en 1996, 0,60 y 0,45 en 1997 y 0,64-0,48 en 1998, para valores medios de ETo entorno a 4,5 y 5 mm/día. En esta etapa, al igual que sucedió entre desborre y floración, los coeficientes de consumo real del viñedo ($K_{viñ}$) fueron muy superiores que los empleados para calcular la dosis de riego ($K_c = 0,45 - 0,30 - 0,15 - 0$, respectivamente para T1-T4), lo cual confirma que se trataba de coeficientes de riego deficitarios para las respectivas cargas en yemas en las condiciones del ensayo (estructuras de conducción, clima, tipo de suelo, etc.).

Después del envero, los consumos medios diarios fueron en general inferiores que en la etapa previa – de floración a envero –, a pesar de que tanto la superficie foliar total como la

externa alcanzaron valores más altos para el conjunto de los tratamientos (**apartados III.1.1 y III.1.2**). La disminución con el tiempo de los niveles de humedad por debajo de los 20 cm superficiales de suelo (**figuras III.23-31**), originó aberturas de estomas cada vez más reducidas (**figura III.44**) y menores pérdidas por transpiración (**figura III.53**), siendo este efecto más acusado en aquéllos años y para aquéllos tratamientos en que las condiciones de disponibilidad hídrica a partir del envero resultaron más desfavorables. Por esa misma razón, los consumos medios diarios en la primera mitad del período de maduración fueron en general superiores que los de la segunda. No obstante, en muchos casos $K_{viñ}$ presentó valores más elevados o iguales en la segunda mitad del período de maduración que en la primera, debido a la reducción de ETo proporcionalmente mayor que la de ET . Se desprende también de las **tablas III.6-8**, que en el intervalo envero-maduración fueron también altamente deficitarios los coeficientes de cultivo empleados para calcular el riego de los diferentes tratamientos (Kc) ya que, al igual que entre floración y envero, los $K_{viñ}$ correspondientes fueron muy superiores.

Cabe añadir, que durante el período de maduración se escalonaron los consumos diarios, así como $K_{viñ}$ de los diferentes tratamientos, según los coeficientes de cultivo correspondientes, siendo todos los años altamente significativas las diferencias entre tratamientos en cuanto a ET y $K_{viñ}$ en dicho intervalo.

Tabla III.3. Evapotranspiración de referencia (ETo) y consumo real del viñedo (ET) medios diarios para cada uno de los tratamientos en los períodos comprendidos entre diferentes estados fenológicos de 1996.

<i>Período</i>	<i>duración intervalo (días)</i>	<i>ETo</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>Sig.</i>
<i>DB-FL</i>	67	3,4	0,84	0,84	0,79	0,85	ns
<i>FL-EN</i>	71	5,0	3,8 a	3,3 ab	2,7 b	1,6 c	***
<i>EN-1/2MD</i>	22	4,2	2,4 a	2,1 a	1,4 b	1,0 b	***
<i>1/2MD-VD</i>	32	2,9	2,3 a	1,3 b	1,0 b	1,2 b	***
<i>DB-VD</i>	192	3,9	2,3 a	2,0 b	1,6 c	1,2 d	***

Donde:
desborre (DB), floración (FL), envero (EN), mitad de maduración (1/2 MD) y vendimia (VD) de 1996. Se presenta igualmente el análisis de varianza en cada uno de esos intervalos, así como la separación de medias según el test de Duncan. ETo y ET se expresan en mm/día.

Tabla III.4. Evapotranspiración de referencia (ETo) y consumo real del viñedo (ET) medios diarios para cada uno de los tratamientos en los períodos comprendidos entre diferentes estados fenológicos de 1997.

Periodo	Duración intervalo (días)	ETo	T1	T2	T3	T4	Sig.
DB-FL	51	3,1	1,1	1,0	0,9	0,9	ns
FL-EN	69	4,5	2,7	2,6	2,5	2,0	ns
EN-1/2MD	24	4,6	2,8 a	2,2 b	1,7 c	1,2 d	***
1/2MD-VD	23	3,9	2,6 a	2,0 b	1,5 c	0,7 d	***
DB-VD	167	4,0	2,2 a	1,9 ab	1,7 b	1,4 c	***

Donde:
desborre (DB), floración (FL), envero (EN), mitad de maduración (1/2 MD) y vendimia (VD) de 1997. Se presenta igualmente el análisis de varianza en cada uno de esos intervalos, así como la separación de medias según el test de Duncan. ETo y ET se expresan en mm/día.

Tabla III.5. Evapotranspiración de referencia (ETo) y consumo real del viñedo (ET) medios diarios para cada uno de los tratamientos en los períodos comprendidos entre diferentes estados fenológicos de 1998.

Estado Fenológico	duración intervalo (días)	ETo	T1	T2	T3	T4	Sig.
DB-FL	67	3,4	1,1	1,2	1,0	1,2	ns
FL-EN	58	5,0	3,1	3,2	2,6	2,4	ns
EN-1/2 MD	28	4,0	2,7 a	2,3 b	1,8 bc	1,4 c	***
1/2 MD-VD	28	3,1	2,1 a	1,6 b	1,2 c	1,0 d	***
DB-VD	181	3,9	2,1 a	2,0 a	1,7 b	1,5 c	***

Donde:
desborre (DB), floración (FL), envero (EN), mitad de maduración (1/2 MD) y vendimia (VD) de 1998. Se presenta igualmente el análisis de varianza en cada uno de esos intervalos, así como la separación de medias según el test de Duncan. ETo y ET se expresan en mm/día.

Tabla III.6. Coeficiente de consumo real del viñedo (K_{viñ}) y evapotranspiración de referencia (ETo) medios diarios para cada uno de los tratamientos en los períodos comprendidos entre diferentes estados fenológicos de 1996.

Periodo	duración intervalo (días)	ETo	T1	T2	T3	T4	Sig.
DB-FL	67	3,4	0,25	0,25	0,23	0,25	ns
FL-EN	71	5,0	0,77 a	0,67 ab	0,53 b	0,32 c	***
EN-1/2MD	22	4,2	0,57 a	0,50 a	0,34 b	0,23 b	***
1/2MD-VD	32	2,9	0,80 a	0,47 b	0,33 b	0,42 b	***
DB-VD	192	3,9	0,59 a	0,49 b	0,39 c	0,30 d	***

Donde:
desborre (DB), floración (FL), envero (EN), mitad de maduración (1/2 MD) y vendimia (VD) de 1996. Se presenta igualmente el análisis de varianza en cada uno de esos intervalos, así como la separación de medias según el test de Duncan. ETo se expresa en mm/día.

Tabla III.7. Coeficiente de consumo real del viñedo (Kviñ) y evapotranspiración de referencia (ETo) medios diarios para cada uno de los tratamientos en los períodos comprendidos entre diferentes estados fenológicos de 1997.

Período	duración intervalo (días)	ETo	T1	T2	T3	T4	Sig.
DB-FL	51	3,1	0,36	0,31	0,28	0,29	Ns
FL-EN	69	4,5	0,60	0,58	0,56	0,45	Ns
EN-1/2MD	24	4,6	0,60 a	0,47 b	0,36 c	0,25 d	***
1/2MAD-VD	23	3,9	0,68 a	0,52 b	0,38 c	0,17 d	***
DB-VD	167	4,0	0,55 a	0,49 ab	0,44 b	0,34 c	***

Donde:
desborre (DB), floración (FL), envero (EN), mitad de maduración (1/2 MD) y vendimia (VD) de 1997. Se presenta igualmente el análisis de varianza en cada uno de esos intervalos, así como la separación de medias según el test de Duncan. ETo se expresa en mm/día.

Tabla III.8. Coeficiente de consumo real del viñedo (Kviñ) y evapotranspiración de referencia (ETo) medios diarios para cada uno de los tratamientos en los períodos comprendidos entre diferentes estados fenológicos de 1998.

Estado Fenológico	duración intervalo (días)	ETo	T1	T2	T3	T4	Sig.
DB-FL	67	3,35	0,33	0,35	0,30	0,35	ns
FL-EN	58	4,99	0,61	0,64	0,53	0,48	ns
EN-1/2 MD	28	4,02	0,68 a	0,56 b	0,45 bc	0,34 c	***
1/2 MD-VD	28	3,07	0,70 a	0,52 b	0,40 c	0,31 d	***
DB-VD	181	3,91	0,54 a	0,52 a	0,42 b	0,39 c	***

Donde
desborre (DB), floración (FL), envero (EN), mitad de maduración (1/2 MD) y vendimia (VD) de 1998. Se presenta igualmente el análisis de varianza en cada uno de esos intervalos, así como la separación de medias según el test de Duncan, ETo se expresa en mm/día,

A partir de las ya comentadas curvas de evolución del consumo diario (figuras III.75-77) y de la duración de los intervalos correspondientes, se generaron las curvas de consumo acumulado que se presentan en las figuras III.78-80. En las tablas III.6-8 se muestran asimismo los análisis de varianza correspondientes para las fechas de floración, envero y vendimia, junto con las separaciones de medias según el test de Duncan.

Como se comentó anteriormente, en ninguno de los años del ensayo se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en cuanto al consumo desde desborre hasta floración, que se movió entre 50 y 80 mm aproximadamente, para el conjunto de las tres campañas de estudio y de los diferentes tratamientos experimentales.

Por el contrario, en 1996 y 1997 resultó altamente significativo el análisis de varianza del consumo acumulado hasta envero (tablas III.9-10), siendo siempre superior el de

cualquiera de los tratamientos regados que el del secano, y así como el de T1 ($Kc_1 = 0,45$) respecto a T3 ($Kc_3 = 0,15$). En 1998, sin embargo, tanto las conductancias estomáticas y tasas de transpiración a nivel de hoja, como los índices de superficie foliar externa fueron bastante parecidos entre los diferentes tratamientos hasta el envero, lo que permitió que no se registraran diferencias significativas en la ET acumulada hasta esa fecha (**tabla III.11; figuras III.80 y III.84**). En el conjunto de los años de ensayo, el consumo acumulado hasta envero osciló entre unos 320 y 235 mm para los tratamientos T1 y T2, 235 y 215 mm para T3 y, finalmente, 215 y 165 mm para el tratamiento que no se regaba (T4).

Por último, a fecha de **vendimia** fue siempre patente la influencia de los tratamientos experimentales en la ET acumulada, diferenciándose, en general, todos ellos entre sí. Los consumos totales (entre desborre y vendimia) se movieron para el conjunto de los años del ensayo en los rangos: 450-380 mm, 375-335 mm, 300 mm y 280-230 mm, respectivamente para T1, T2, T3 y T4.

Tabla III.9. Consumo acumulado de agua (en mm) para cada uno de los tratamientos en diferentes estados fenológicos de 1996.

Dd1enero	Estado Fenológico	ETo	ET				Sig.
			T1	T2	T3	T4	
84	Desborre	0	0	0	0	0	--
152	Floración	229	57	57	54	58	ns
220	Envero	566	317 a	282 ab	234 b	167 c	***
276	Vendimia	756	447 a	374 b	298 c	229 d	***

Donde: desborre (DB), floración (FL), envero (EN) y vendimia (VD) de 1996. Se presenta igualmente el análisis de varianza en cada uno de esos momentos, así como la separación de medias según el test de Duncan

Tabla III.10. Consumo acumulado de agua (en mm) para cada uno de los tratamientos en diferentes estados fenológicos de 1997.

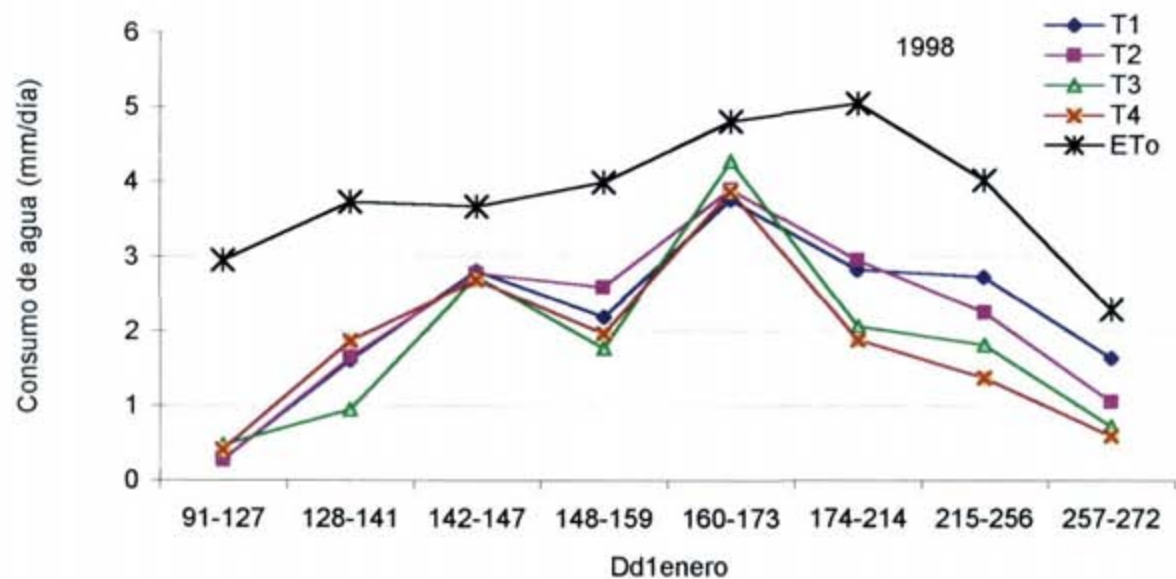
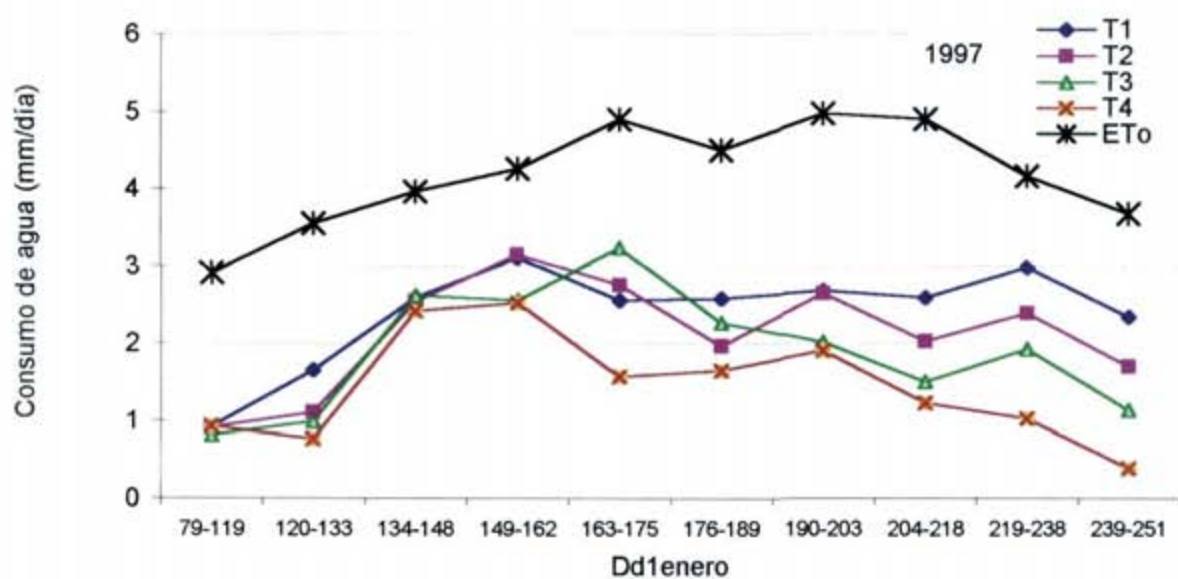
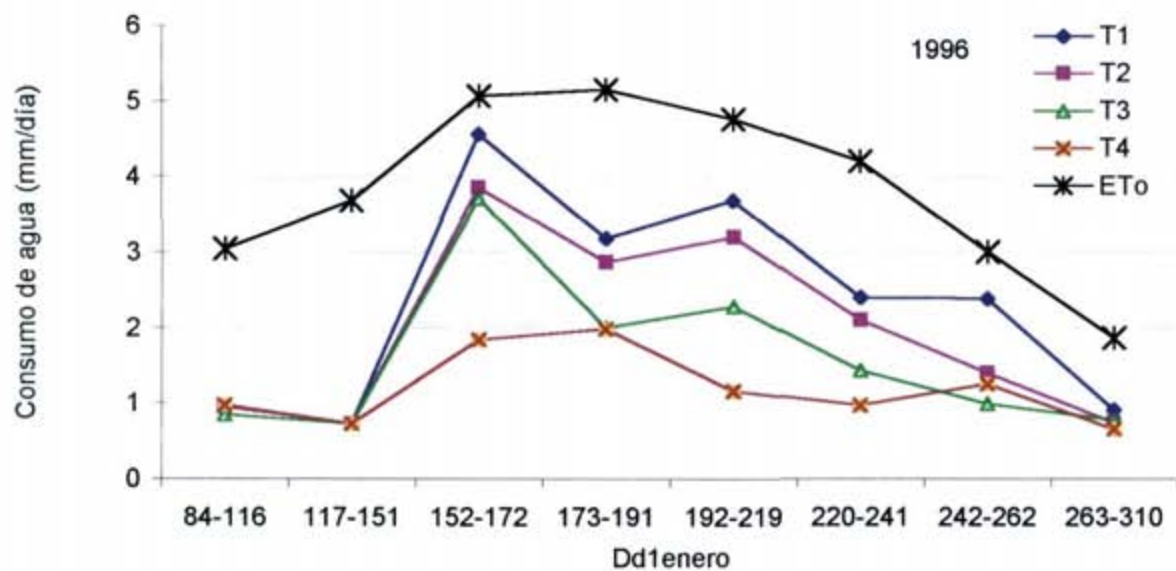
Dd1enero	Estado Fenológico	ETo	ET				Sig.
			T1	T2	T3	T4	
79	Desborre	0	0	0	0	0	--
134	Floración	169	61	53	47	49	ns
204	Envero	484	250 a	235 b	224 b	191 c	**
252	Vendimia	688	379 a	336 b	300 c	235 d	**

Donde: desborre (DB), floración (FL), envero (EN) y vendimia (VD) de 1997. Se presenta igualmente el análisis de varianza en cada uno de esos momentos, así como la separación de medias según el test de Duncan

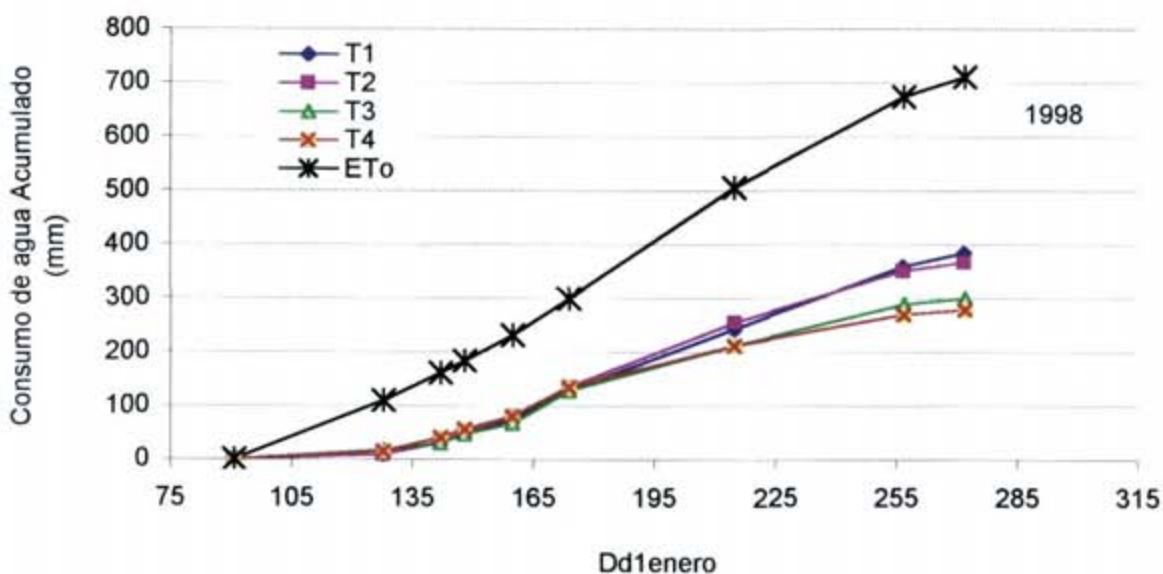
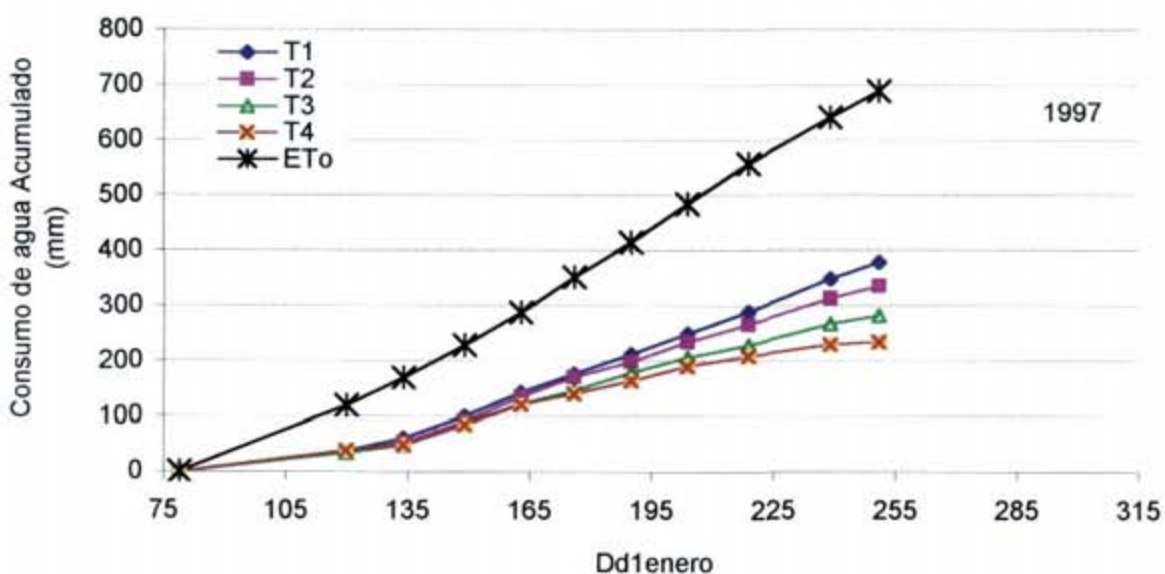
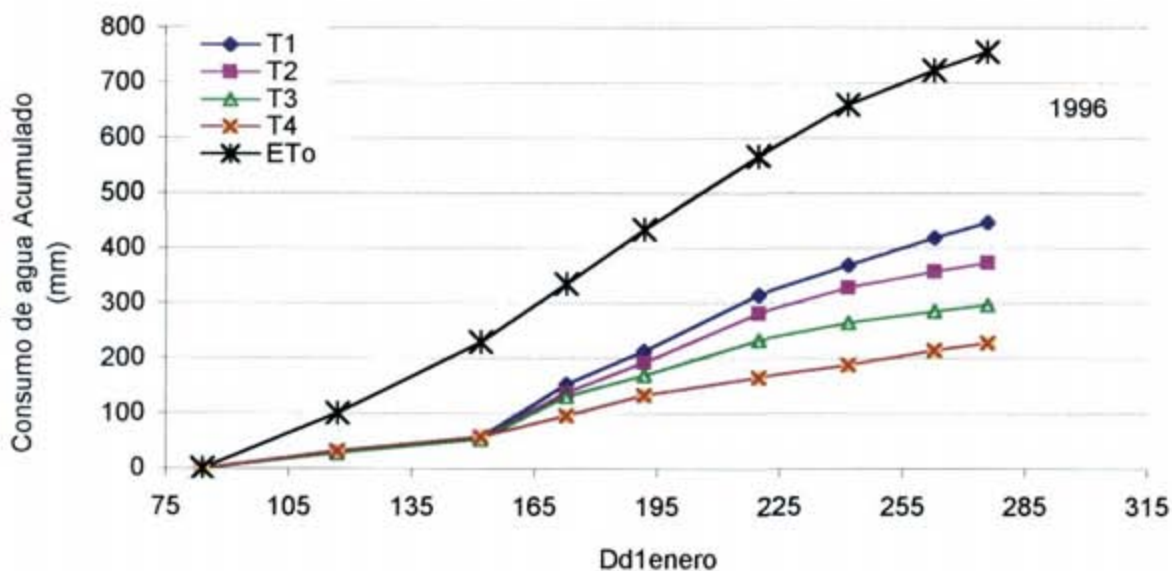
Tabla III.11. Consumo acumulado de agua (en mm) para cada uno de los tratamientos en diferentes estados fenológicos de 1998.

<i>Dd1enero</i>	<i>Estado Fenológico</i>	<i>ETo</i>	<i>ET</i>				<i>Sig.</i>
			<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	
<i>91</i>	<i>Desborre</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>—</i>
<i>160</i>	<i>Floración</i>	<i>231</i>	<i>76</i>	<i>81</i>	<i>68</i>	<i>81</i>	<i>ns</i>
<i>215</i>	<i>Envero</i>	<i>505</i>	<i>244</i>	<i>256</i>	<i>213</i>	<i>213</i>	<i>ns</i>
<i>273</i>	<i>Vendimia</i>	<i>711</i>	<i>385 a</i>	<i>368 a</i>	<i>301 b</i>	<i>280 c</i>	<i>***</i>

Donde:
desborre (DB), floración (FL), envero (EN) y vendimia (VD) de 1998. Se presenta igualmente el análisis de
varianza en cada uno de esos momentos, así como la separación de medias según el test de Duncan



Figuras IIL75-77. Evolución estacional del consumo diario de agua en el viñedo (ET) para los diferentes tratamientos experimentales, así como de la evapotranspiración potencial diaria (ET0) en los tres años del ensayo, respectivamente



Figuras III.78-80. Evolución estacional del consumo acumulado de agua en el viñedo (ET) para los diferentes tratamientos experimentales, así como de la evapotranspiración potencial diaria (ET₀) en los tres años del ensayo, respectivamente

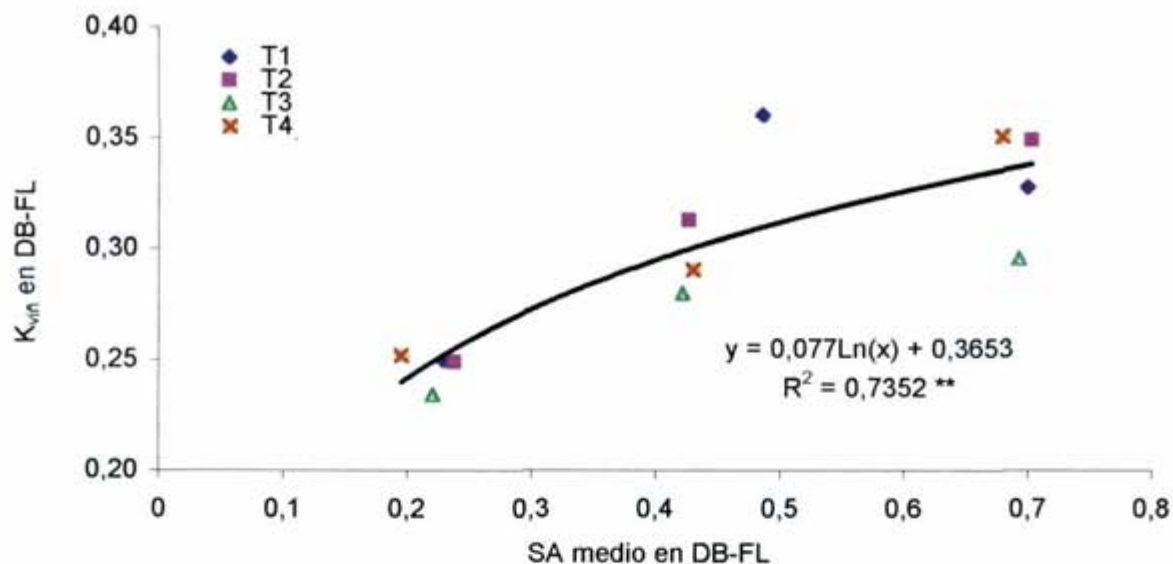


Figura III.81. Influencia de la superficie foliar externa (SA) en el coeficiente de consumo real del viñedo (K_{vin}) en el intervalo de desborre (DB) a floración (FL), para los diferentes tratamientos experimentales y en los tres años del estudio (1996-98). Cada punto representa el valor medio de un tratamiento en cada uno de los años del estudio. Los índices de superficie foliar externa representados se corresponden con el valor medio para cada tratamiento y año en el intervalo entre desborre y floración

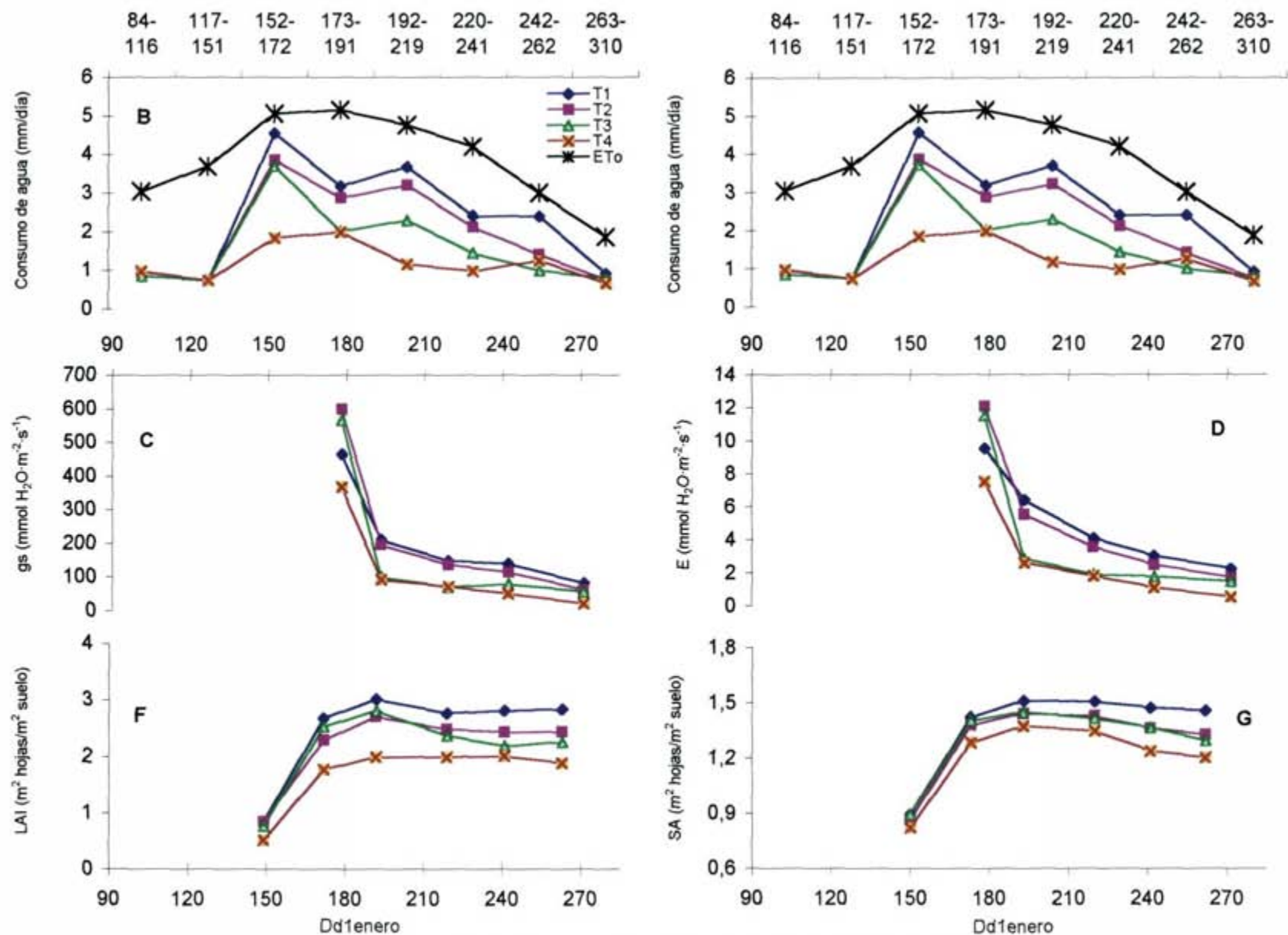


Figura III.82. Evolución a lo largo de 1996 del consumo diario (ET), conductancia estomática (gs), tasa de transpiración (E), índice de área foliar (LAI) e índice de superficie foliar externa (SA), para los diferentes tratamientos experimentales (T1-T4)

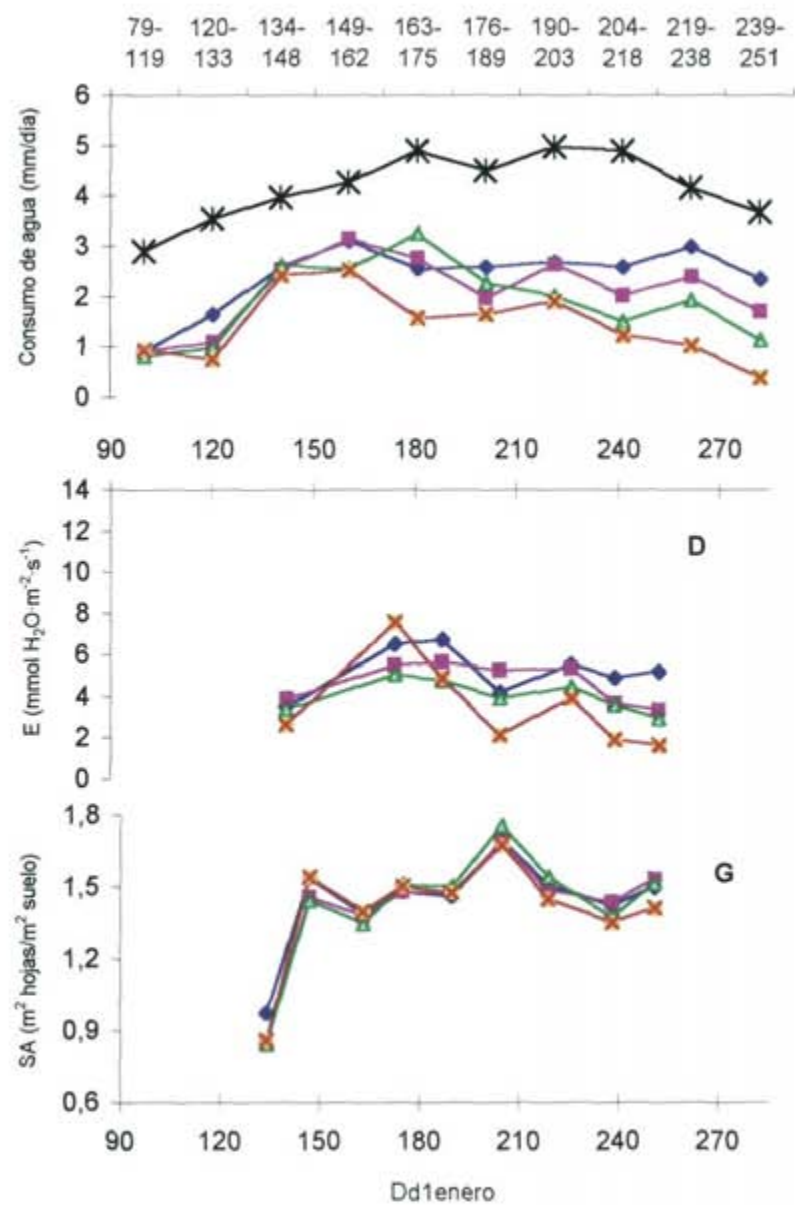
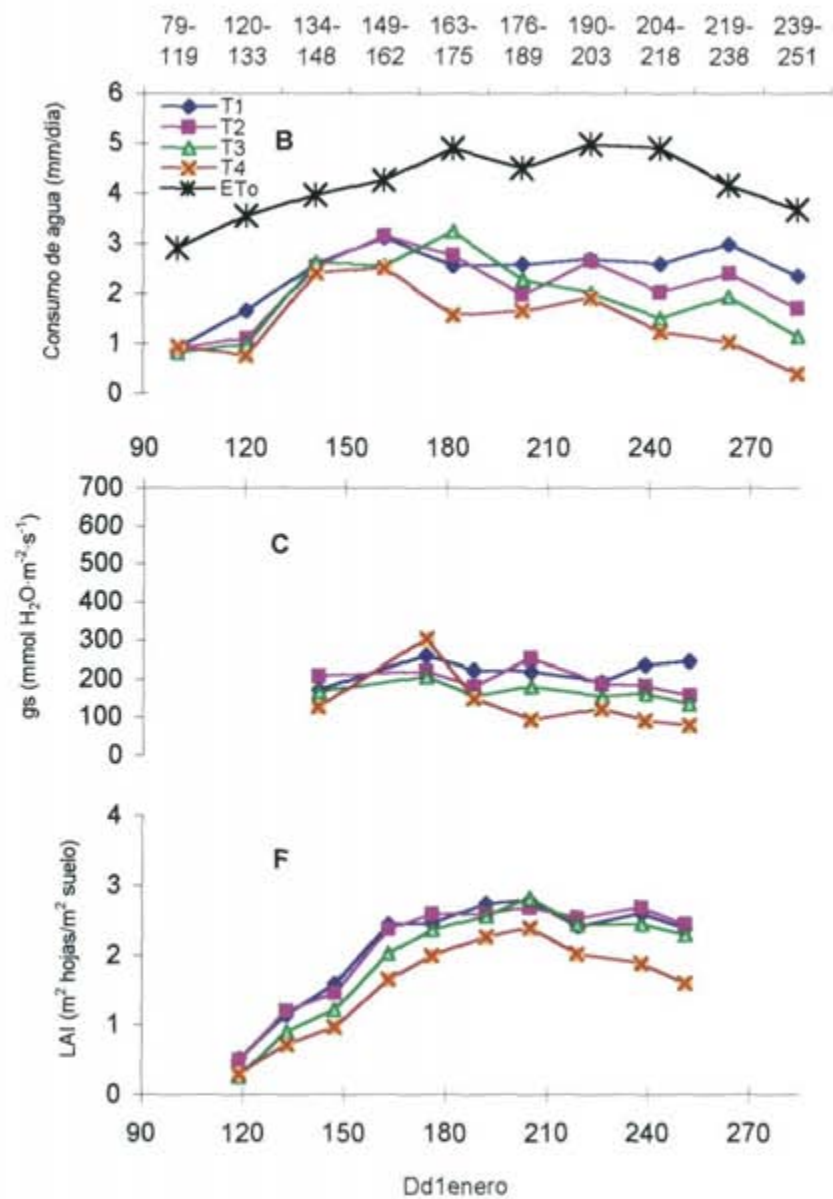


Figura III.83. Evolución a lo largo de 1997 del consumo diario (ET), conductancia estomática (gs), tasa de transpiración (E), índice de área foliar (LAI) e índice de superficie foliar externa (SA), para los diferentes tratamientos experimentales (T1-T4)

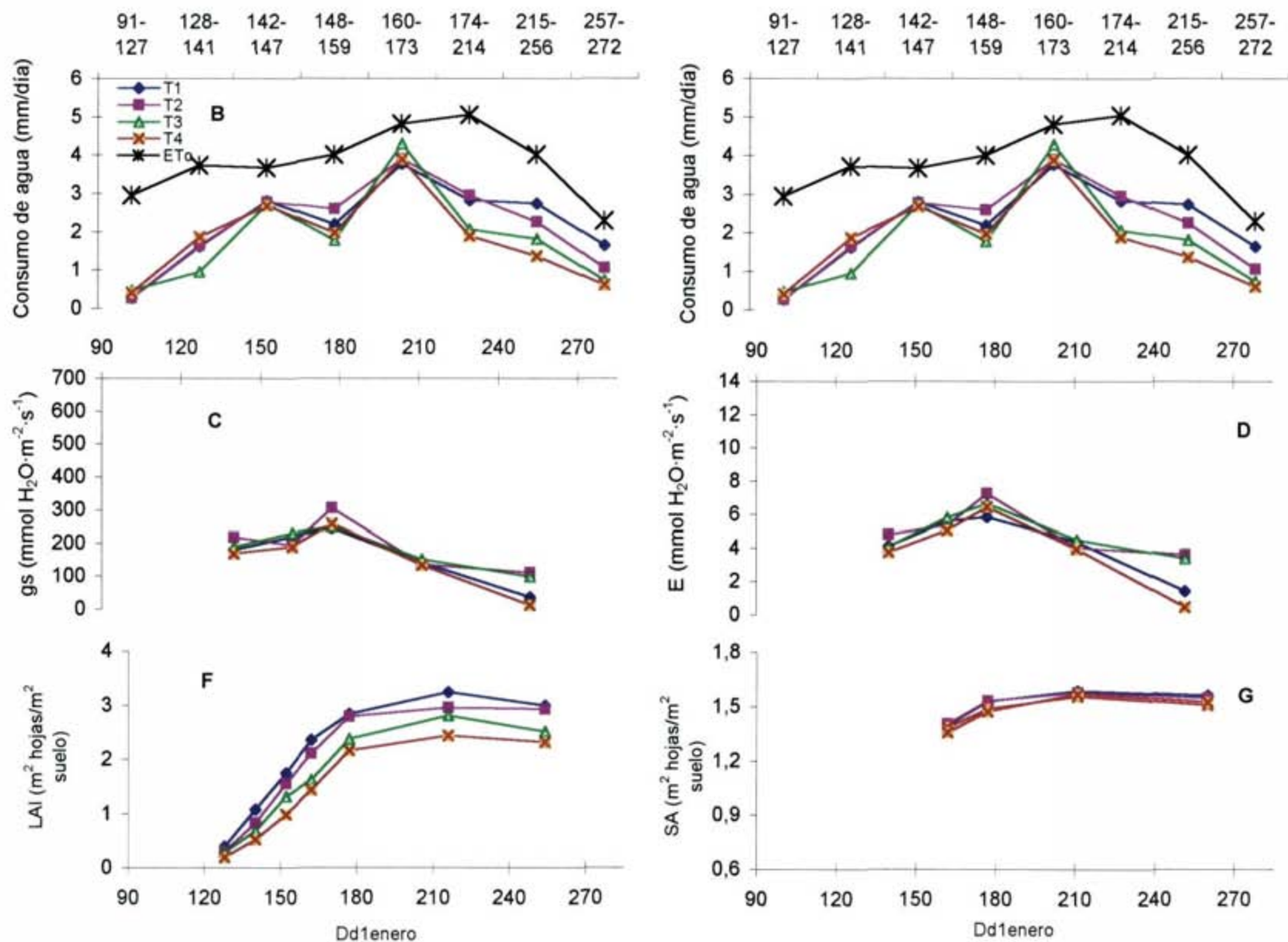


Figura III.84. Evolución a lo largo de 1998 del consumo diario (ET), conductancia estomática (gs), tasa de transpiración (E), índice de área foliar (LAI) e índice de superficie foliar externa (SA), para los diferentes tratamientos experimentales (T1-T4)

5. EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD

En la **tabla III.12** se presentan para cada tratamiento y año del estudio los datos medios de rendimiento en cosecha, así como sus componentes. En cuanto a los kilos de uva producidos por planta o m^2 , nunca hubo diferencias significativas entre tratamientos regados, pero el rendimiento del secano fue inferior que aquéllos en 1996 y '97. Los componentes del rendimiento que explican este hecho son: en primer lugar, el menor número de pámpanos por m^2 para T4; en segundo lugar, en 1996 fue menor el número de racimos por pámpano en las cepas no regadas; por último, tanto en 1996 como en 1997, aunque estadísticamente no se detectan diferencias en cuanto al peso medio de los racimos, éste fue siempre inferior para T4 que para los tratamientos regados. Por el contrario, en 1998 las plantas de T4 compensaron su menor densidad de pámpanos a través del número de bayas por racimo -que dio lugar a racimos de mayor peso medio-, y también mediante la fertilidad en racimos de los sarmientos -también superior en el secano aunque estadísticamente no se detectan diferencias-.

Por otra parte, en la **tabla III.13** se presentan diferentes relaciones entre el desarrollo vegetativo y el rendimiento en uva final, así como el °Brix en vendimia, para los diferentes tratamientos experimentales, en las tres campañas de ensayo. En ninguno de los años se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a la concentración de azúcares en las bayas a fecha de vendimia, que rondó los 20-21 °Brix. En general, el ratio superficie foliar (total o externa) por unidad de peso de cosecha fue superior para las cepas del secano. Ello compensó las menores tasas de asimilación de carbono por unidad de superficie foliar que desarrollaron las cepas del T4 durante el período de maduración.

En la **tabla III.14** se presentan los pesos de madera de poda -por cepa y por m^2 de terreno-, así como los pesos medios por sarmiento e índice de Ravaz, para los cuatro tratamientos experimentales en cada uno de los años de estudio. De nuevo los resultados del ensayo son diferentes en 1998, frente a los otros dos años. Así, mientras que en 1996 y '97 se escalonan los pesos de madera de poda aproximadamente según la aportación de agua de riego, en 1998 no se producen diferencias significativas entre ellos, ya que el peso medio del sarmiento es superior cuanto menor era el número de nudos dejados en la poda. De esta manera, en la última campaña del ensayo se compensaron densidades inferiores de pámpanos con mayor vigor de los mismos, para dar lugar a pesos de madera de poda similares. Ello se explica a través de las cuantiosas precipitaciones en la primavera del '98, que dieron lugar a elevadas disponibilidades hídricas para todos los tratamientos experimentales en el período de

máximo crecimiento vegetativo de las plantas, por lo que su desarrollo vegetativo global fue similar. En cuanto al índice de Ravaz, los valores encontrados son elevados en comparación con los propuestos por autores como Smart (1995) que ha sugerido como óptimo el ratio 5:1 entre el peso de cosecha y el de madera de poda.

Tabla III.12. Descomposición de los componentes de la producción de los distintos regímenes hídricos en 1996, 1997 y 1998

		Prod (kg·m ⁻²)	N° Pámpanos (pam·m ⁻²)	Fertilidad		Peso medio	
				N° Racimos por pámpano	N° Bayas por racimo	Racimo (g)	100 Bayas (g)
1996	T1	2,56 a	6,88 a	1,39 bc	139,3	262,4	192,6
	T2	2,64 a	6,18 b	1,49 ab	145,6	287,7	197,3
	T3	2,31 a	5,38 c	1,66 a	154,1	258,7	167,5
	T4	1,21 b	3,88 d	1,24 c	144,6	240,7	170,3
	Sig.	**	***	**	ns	ns	ns
1997	T1	2,73 a	6,58 a	1,63	137,1	254,8	188,0
	T2	2,45 a	6,19 a	1,52	126,7	259,1	205,3
	T3	1,90 ab	5,08 b	1,54	120,6	238,0	197,6
	T4	1,30 b	3,69 c	1,53	111,8	229,4	202,8
	Sig.	*	***	ns	ns	ns	ns
1998	T1	2,40	6,73 a	1,27	131,6 b	252,1 c	191,4
	T2	2,40	5,69 b	1,34	153,0 ab	286,2 bc	186,4
	T3	2,04	4,65 c	1,38	151,2 ab	292,3 b	194,6
	T4	1,93	3,48 d	1,58	167,5 a	324,0 a	194,2
	Sig.	ns	***	ns	*	*	ns

ns, *, **: no significativo , significativo para P<0.05, P<0.01, respectivamente
 Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para P<0,05.

Tabla III.13. Relación entre el desarrollo vegetativo y la cantidad y calidad de la producción durante las tres campañas de ensayo

		<i>LAI/prod</i> (cm ² ·g)	<i>SA/prod</i> (cm ² ·g)	<i>°Brix</i>	<i>prod</i> (kg·m ⁻²)
1996	<i>T1</i>	9,81 <i>b</i>	5,77 <i>b</i>	21,42	2,56 <i>a</i>
	<i>T2</i>	9,41 <i>b</i>	5,34 <i>b</i>	20,07	2,64 <i>a</i>
	<i>T3</i>	9,69 <i>b</i>	5,92 <i>b</i>	19,28	2,31 <i>a</i>
	<i>T4</i>	13,72 <i>a</i>	9,15 <i>a</i>	19,26	1,21 <i>b</i>
	<i>Sig.</i>	*	*	<i>ns</i>	**
1997	<i>T1</i>	9,69 <i>b</i>	5,66 <i>b</i>	20,59	2,73 <i>a</i>
	<i>T2</i>	10,83 <i>b</i>	6,43 <i>b</i>	20,09	2,45 <i>a</i>
	<i>T3</i>	12,23 <i>ab</i>	8,99 <i>ab</i>	20,65	1,90 <i>ab</i>
	<i>T4</i>	13,18 <i>a</i>	10,72 <i>a</i>	20,65	1,30 <i>b</i>
	<i>Sig.</i>	*	*	<i>ns</i>	*
1998	<i>T1</i>	12,89	6,60	21,20	2,40
	<i>T2</i>	12,19	6,57	20,60	2,40
	<i>T3</i>	13,19	7,74	21,40	2,04
	<i>T4</i>	11,01	7,28	20,60	1,93
	<i>Sig.</i>	<i>ns</i>	<i>Ns</i>	<i>ns</i>	<i>Ns</i>

ns, *, **: no significativo , significativo para $P<0.05$, $P<0.01$, respectivamente
Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para $P<0.05$.

Tabla III.14. Desarrollo vegetativo de los sistemas de conducción en 1996, 1997 y 1998

		<i>pmp/cepa</i> (g)	<i>Pmp·m⁻²</i> (g)	<i>Peso medio</i> <i>sarmiento</i> (g)	<i>I.Ravaz</i> (g uva/g <i>madera poda</i>)
1996	<i>T1</i>	840 <i>a</i>	350 <i>a</i>	61,2	7,92
	<i>T2</i>	828 <i>a</i>	345 <i>a</i>	62,6	7,74
	<i>T3</i>	681 <i>b</i>	284 <i>b</i>	58,9	7,27
	<i>T4</i>	466 <i>c</i>	194 <i>c</i>	55,6	6,48
	<i>Sig.</i>	***	***	<i>ns</i>	<i>Ns</i>
1997	<i>T1</i>	806 <i>ab</i>	336 <i>ab</i>	51,1	9,05 <i>a</i>
	<i>T2</i>	869 <i>a</i>	362 <i>a</i>	59,2	7,01 <i>ab</i>
	<i>T3</i>	669 <i>bc</i>	279 <i>bc</i>	54,5	7,11 <i>ab</i>
	<i>T4</i>	569 <i>c</i>	237 <i>c</i>	66,3	5,92 <i>b</i>
	<i>Sig.</i>	**	**	<i>Ns</i>	*
1998	<i>T1</i>	884	368	54,7 <i>c</i>	7,54
	<i>T2</i>	841	350	61,6 <i>bc</i>	7,00
	<i>T3</i>	848	353	76,1 <i>ab</i>	6,13
	<i>T4</i>	752	313	90,1 <i>a</i>	7,20
	<i>Sig.</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	**	<i>Ns</i>

ns, *, **: no significativo , significativo para $P<0.05$, $P<0.01$, respectivamente
Separación de medias de los diferentes tratamientos mediante el test de Duncan para $P<0.05$

CAPITULO IV. CONCLUSIONES

Bajo el régimen de precipitaciones típico mediterráneo y en plantaciones de vid con suelo desnudo, el contenido de humedad del suelo no es un factor limitante para el consumo de la vid entre desborre y floración (de finales de marzo a primeros de junio), siendo bajo debido a la conjunción de demandas atmosféricas moderadas y desarrollos foliares aún reducidos.

Posteriormente, en las condiciones del ensayo los coeficientes de riego empleados han resultado siempre deficitarios, disminuyendo el contenido de humedad del suelo a lo largo de la campaña para todos los tratamientos. Esa caída ha sido muy brusca cerca de floración (cuando los contenidos de humedad son por lo general muy elevados debido a las precipitaciones de invierno y primavera, y el “canopy” y la ETo comienzan a ser considerables) y más lenta una vez que los potenciales matriciales del suelo se hacen más limitantes para el consumo y la aplicación del riego amortigua la pérdida de agua por evapotranspiración.

Las evolución de θ_v del secano refleja que el nivel de humedad del suelo al que el agua deja de estar fácilmente disponible para la planta se encuentra entorno a potenciales matriciales medios entre $-0,66$ y -1 bar, en las condiciones del ensayo (textura de suelo franco-arenosa) lo cual se corresponde bien con el primer cambio de importante pendiente de la curva característica de humedad.

En cuanto al desarrollo vegetativo de las plantas de vid, tanto las dimensiones de las estructuras de conducción, como los despuntes realizados con objeto de mantener la forma de la espaldera, han limitado las diferencias en superficie externa (SA) entre tratamientos, y en general ni el riego ni la carga en yemas han tenido una influencia estadísticamente detectable en la SA a fecha de envero, cuando es máxima. No obstante, el carácter deficitario de los coeficientes de riego empleados ha dado lugar a pérdidas de superficie foliar por senescencia durante el período maduración, que han repercutido negativamente tanto en el índice de área foliar (LAI) como en la SA, siendo aún más acusados estos efectos en el secano (T4). Por esta razón se ha visto reducida la capacidad asimiladora global de las plantas, especialmente del secano, durante el período de maduración.

Referente al contenido de humedad del suelo a diferentes profundidades, las sondas entre 0 y 20 cm de profundidad (prof.1) son las que peor han reflejado el consumo de la planta, puesto que al hallarse muy superficiales ha fluctuado su medida fácilmente con las lluvias, la aplicación de agua de riego y por la evaporación del ambiente. A 40-70 cm (prof.3),

es donde se han alcanzado niveles de humedad más bajos y se han producido diferencias más importantes entre tratamientos.

La conductancia estomática (g_s) ha presentado una relación de tipo potencial, y altamente significativa, con el contenido medio de humedad del perfil en diferentes momentos de la estación -en condiciones no limitantes de radiación fotosintéticamente activa (PAR)-. De ella se deduce que para contenidos elevados de humedad del suelo (potenciales matriciales, Ψ_m superiores a -33 kPa) pequeños cambios en θ_v tienen una repercusión grande en g_s , mientras que para Ψ_m inferiores a -100 kPa, reducciones importantes en θ_v dan lugar a conductancias parecidas. Al tratarse de un suelo franco-arenoso, es bastante estrecha la franja de θ_v en que se pasa de una situación a otra, lo que pone de relieve la gran trascendencia la monitorización de estos dos parámetros (θ_v y Ψ_m) de cara a la gestión adecuada del riego.

Se ha encontrado igualmente que la conductancia estomática explica en una cuantía muy elevada la tasa de fotosíntesis neta a nivel de hoja (A), -también cuando el flujo de fotones que alcanzan la hoja no limitan A -, siendo de tipo logarítmico la relación entre ambas. La pendiente de la misma, inversamente proporcional a g_s , se hace muy pronunciada para conductancias bajas y tiende a la horizontalidad para valores elevados de g_s -a partir de $300 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ -. Ello implica que la eficiencia intrínseca en el uso del agua (A/g_s) aumente al disminuir θ_v .

Se ha comprobado también que en nuestras condiciones hay una diferencia importante entre las asimilaciones efectuadas por las caras Este y Oeste de la espaldera, a igualdad de g_s , siendo la causa probable de ello el incremento por la tarde (cuando se encuentra iluminada la cara Oeste) de la tasa de fotorespiración con relación a la de asimilación de carbono, debido a las altas temperaturas foliares. Esa diferencia se ve acentuada por el hecho de que g_s es alrededor de un 25% más reducida por la tarde al Oeste de la espaldera, que por la mañana al Este, lo cual se debe principalmente al mayor déficit de presión de vapor (DPV) por la tarde, originado por las temperaturas más elevadas. Esa menor g_s por la tarde, permite a la planta - que se soporta temperaturas más elevadas y, por tanto, también DPV mucho más altos que por la mañana- limitar el volumen de agua transpirado.

Entre enero y vendimia, la disminución de los niveles de humedad, y por tanto de los potenciales matriciales, por debajo de los 20 cm superficiales de suelo, origina aberturas de estomas cada vez más reducidas y menores pérdidas por transpiración, siendo este efecto más acusado cuando las condiciones de disponibilidad hídrica a partir del enero resultan más

desfavorables para la planta. Esto afecta negativamente a las tasas de asimilación, según la relación entre A y g_s comentada anteriormente, y por tanto a la generación de fotoasimilados que han de contribuir a la maduración de la fruta.

La aplicación de riegos frecuentes, aun a dosis muy bajas (15% ETo) ha repercutido muy positivamente en la intensidad del estrés hídrico experimentado por las cepas.

Se ha comprobado que en condiciones de estrés hídrico moderado, la conductancia estomática resulta un indicador del estrés hídrico mucho más adecuado que el potencial hídrico foliar.

CAPITULO V. BIBLIOGRAFIA

Ahuja, L. R. y D. R. Nielsen (1990). Field soil-water relations, ed. B. A. Stewart, and D. R. Nielsen, vol. 30. Madison (Wisconsin), American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, pp. 144-190.

Alburquerque-Regina, M. (1993). Responses des cepages de *Vitis vinifera* L. aux variations de l'environnement: effets de la contrainte hydrique sur la photosynthese, la photorespiration et la teneur en acide abscissique des feuilles. Tesis doctoral, Université de Bordeaux II.

Amerine, M. A. y A. J. Winkler (1944). Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia* 15: 493-673.

Antunes Lopes, C. M. (1994). Influência do sistema de condução no microclima do coberto, vigor e produtividade da videira (*Vitis vinifera* L.). Tesis doctoral, Universidade Técnica de Lisboa.

Archer, E. y H. C. Strauss (1989). The effect of plant spacing on the water status of soil and grapevines. *South African Journal for Enology and Viticulture* 10: 49-58.

Azcon-Bieto, J. y M. Talon (1996). Fisiología y bioquímica vegetal. Madrid, McGRAW-HILL-INTERAMERICANA DE ESPAÑA, pp. 555.

Baeza, P. (1994). Caracterización ecofisiológica y evaluación agronómica de diferentes sistemas de conducción del viñedo (*Vitis vinifera* L.) en regadío. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

Barbagallo, M. G., et al. (1998). Effect of water regime on canopy characteristics in grapevine. Marsala (Sicilia).

Bartolomé, M. C. (1993). Respuestas de la vid (*Vitis vinifera* L.) a condiciones de estrés hídrico: efectos sobre las relaciones agua-planta, el crecimiento, la producción y la calidad (cv. Tempranillo). Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

Becker, N. y H. Zimmermann (1984). Influence de divers apports d'eau sur des vignes en pots, sur la maturation des sarments, le développement des baies et la qualité du vin. *Bulletin de l'O.I.V.* 641-642: 584-596.

Bielorai, H. (1982). The effect of partial wetting of the root zone on yield and water use efficiency in a drip- and sprinkler-irrigated mature grapefruit grove. *Irrigation Science* 3: 89-100.

Bravdo, B. y E.L. Proebsting (1993). Use of drip irrigation in orchards. *HortTechnology* 3 (1): 44-49.

Bravdo, B. (1996). Effect of water regime on productivity and quality of fruit and wine. *Acta Horticulturae* 427: 15-26.

Brown, B. y T. Sluggett (2000). Drip irrigation: an excellent tool for vineyard irrigation management. *The Australian Grapegrower and Winemaker*, Annual Technical Issue: 24-25.

Bunce, J. A. y L. N. Miller (1976). Differential effects of water stress on respiration in woody plants from wet and dry habitats. *Canadian Journal of Botany* 54: 2457-2463.

Buttrose, M. S. (1966). Use of carbohydrate reserves during growth from cuttings of grapevine. *Australian Journal of Biological Sciences* 19: 247-256.

Buzin, P. M. (1957). Irrigation in Uzbequistan. *Vinodelie i Vinogradarstvo* 7: 30-33.

Caló, A. y F. Giorgessi (1985a). Prove di applicazione dell'irrigazione localizzata, cimatura e concimazione azotata nella vite nel Veneto: influenza sul metabolismo della fase vegetativa e di accumulo. *Rivista di Viticoltura e di Enologia* 38: 104-117.

Caló, A. y F. Giorgessi (1985b). Influenza esercitata nell'irrigazione del vigneto dal diverse numero di erogatori per unità di superficie in un ambiente dell "grave del piave" nell'Italia Nord-Orientale. *Rivista di Viticoltura e di Enologia* 38: 118-134.

Carbonneau, A. (1976). Principes et méthodes de mesure de la surface foliaire. Essai de caractéristion des types de feuilles dans le genre *Vitis*. *Ann. Amélior. Plantes* 26 (2): 327-343.

Carbonneau, A. (1998). Irrigation, vignoble et produits de la vigne, ed. J. R. Tiercelin. Paris, Tec & Dol, pp. 25-37.

Choné, X., et al. Déficit hydrique modéré de la vigne: parmi les 3 applications de la chambre à pression, le potentiel tige est l'indicateur le plus précis (2000). *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 34 (4): 169-176.

Coombe, B. G. y P. R. Dry (1992). Viticulture, vol. 2: Practices. Winetitles, Adelaide pp. 376.

Correia, M. J., M. M. Chaves y J. S. Pereira (1990). Afternoon depression in photosynthesis in grapevine leaves -evidence for a high light stress effect. *Journal of Experimental Botany* 41 (225): 417-426.

Correia, M. J., et al. (1995). ABA xylem concentrations determine maximum daily leaf conductance of field-grown *Vitis vinifera* L. plants. *Plant, Cell and Environment* 18: 511-521.

Da Silva, F. F., et al. (1998). Measuring water content of soil substitutes with Time-domain Reflectometry (TDR). *Journal of the American Society for Horticultural Science* 123 (4): 734-737.

Davies, D. J. y J. Zhang (1991). Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 42: 55-76.

Denmead, O. T. y R. H. Shaw (1962). Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agronomy Journal* 54: 385-390.

Doorenbos, J., y W. O. Pruitt (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. *FAO Irrigation and drainage paper* 24.

Doorenbos, J. y A. H. Kassam (1979). Yield response to water. *FAO Irrigation and drainage paper* 33.

Downton, W. J. S., W. J. R. Grant y B. R. Loveys (1987). Diurnal changes in the photosynthesis of field-grown grapevines. *New Phytol.* 105 (71).

Dry, P. R. y B. R. Loveys (1998). Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 4: 140-148.

Düring, H. (1976). Studies on the environmentally controlled stomatal transpiration in grapevines. I. Effects of light intensity and air humidity. *Vitis* 15: 82.

Düring, H. (1979). Wirkungen der Luft und Bodenfeuchtigkeit auf das vegetative Wachstum und der Wasseraushalt bei Reben. *Vitis* 18: 211-220.

Düring, H. (1987). Stomatal responses to alterations of soil and air humidity in grapevines. *Vitis* 26: 9.

Düring, H. (1988). CO₂ assimilation and photorespiration of grapevine leaves: responses to light and drought. *Vitis* 27: 199-208.

Düring, H. (1991). Determination of photosynthetic capacity of grapevine leaves. *Vitis* 30: 49-56.

Düring, H., B. R. Loveys y P. R. Dry (1996). Root signals affect water use efficiency and shoot growth. *Proc. Workshop Strategies to Optimize Wine Grape Quality. Acta Horticulturae* 427: 1-13.

Eastham, J. y S. A. Gray (1998). A preliminary evaluation of the suitability of sap flow sensors for use in scheduling vineyard irrigation. *American Journal of Enology and Viticulture* 49 (2): 171-176.

Eichhorn, K. W. y D. H. Lorenz (1977). Phänologische Entwicklungsstadien der Rebe. *Nachrichtenbl. Dtsch. Pflanzenschutzdienstes (Braunschweig)* 29: 119-120.

Esteban Lázaro, M. A. (1995). Variaciones en la composición química de las bayas del cv. de vid Tempranillo durante la maduración producidas por el sistema de conducción y el régimen hídrico. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid.

Evans, R. G., et al. (1993). Water use of *Vitis vinifera* grapes in Washington. *Agricultural Water Management* 23: 109-124.

FAO (1990). FAO Penman-Monteith Formula. Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Roma.

Fiscus, E. L., S. D. Wullschlegel y H. R. Duke (1984). Integrated stomatal opening as an indicator of water stress in *Zea*. *Crop Science* 24: 245-249.

Fiscus, E. L., A. N. M. Mahbub-Ul Alam y T. Hirasawa (1991). Fractional integrated stomatal opening to control water stress in the field. *Crop Science* 31: 1001-1008.

Flexas, J., J. M. Escalona y H. Medrano (1998). Down-regulation of photosynthesis by drought under field conditions in grapevine leaves. *Australian Journal of Plant Physiology* 25: 893-900.

Freeman, B. M. y R. E. Smart (1976). Research note: a root observation laboratory for studies with grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture* 27(1): 36-39.

Füri, J. (1977). Der Wasserverbrauch und Bedarf der Reben während der Vegetationsperiode. *Wein Wissenschaft* 32: 77-121.

Gamon, J. A. y R. W. Percy (1990). Photoinhibition in *Vitis californica*: interactive effects of sunlight, temperature and water status. *Plant, Cell and Environment* 13: 267-275.

García-Escudero, E. (1991). Influencia de la dosis y del momento de aplicación del riego sobre la producción, desarrollo vegetativo, calidad del mosto y nutrición mineral de la vid (*V. vinifera* L.). Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

García-Escudero, E., et al. (1994). Ensayos de riego localizado en viñedos de la D.O.C. Rioja. En: *Actas del G.E.S.CO 94*, Valladolid (España), pp. 269-274.

Gardner, W. R. y R. H. Nieman (1964). Lower limit of water availability to plants. *Science* 143: 1460-1462.

Ginestar, C., et al. (1998a). Use of sap-flow sensors to schedule vineyard irrigation. I. Effects of post-veraison water deficits on water relations, vine growth and yield of Shiraz grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture* 49 (4): 413-420.

Ginestar, C., et al. (1998b). Use of sap-flow sensors to schedule vineyard irrigation. II. Effects of post-veraison water deficits on composition of Shiraz grapes. *American Journal of Enology and Viticulture* 49 (4): 421-428.

Girona, J. (1994). Respuesta fisiológica y productiva del estrés hídrico en diferentes especies frutales: melocotonero, avellano y nogal. Tesis doctoral, Universidad de Lleida, pp.150.

Giulivo, C., et al. (1984). Studies on water relations of grapevine (*Vitis vinifera* L.). Effects of sinks on leaf water potential and transpiration in non limiting water conditions. *Acta Horticulturae* 171: 156-166.

Gladstones, J. (1992). *Viticulture and environment*. Adelaide, Australia: Winetitles, pp. 310.

Goldhamer, D. A. y R. L. Snyder (1989). Irrigation scheduling. A guide for efficient on-farm water management. Oakland, California, Division of agriculture and natural resources, University of California, pp. 67.

Gómez del Campo, M.V. (1998). Mecanismos de adaptación a sequía en la vid. Evaluación del consumo de agua, crecimiento y desarrollo vegetativo, productividad y eficiencia en el uso del agua de cuatro genotipos de vid (*Vitis vinifera* L.). Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

Green, S. R. y B. E. Clothier (1995). Root water uptake by kiwifruit vines following partial wetting of the root zone. *Plant and Soil* 173: 317-328.

Green, S. y B. Clothier (1999). The root zone dynamics of water uptake by a mature apple tree. *Plant and Soil* 206: 61-77.

Grimes, D. W., H. Yamada y S. W. Hughes (1987). Climate-normalized cotton leaf water potentials for irrigation scheduling. *Agricultural Water Management* 12: 293.

Grimes, D. W. y L. E. Williams (1990). Irrigation effects on plant water relations and productivity of Thompson Seedless grapevines. *Crop Science* 30: 255-260.

Haines, W. B. (1930). Studies in the physical properties of soils (V.). The hysteresis effect in capillary properties, and the modes of moisture distribution associated therewith." *Journal of Agricultural Sciences* 20: 97-116.

Hardie, W. J. y J. A. Considine (1976). Response of grapes to water-deficit stress in particular stages of development. *American Journal of Enology and Viticulture* 27 (2): 55-61.

Hardie, W. J. y S. R. Martin (2000). Shoot growth on de-fruited grapevines: a physiological indicator for irrigation scheduling. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 6: 52-58.

Harley, P. C. y J. D. Tenhunen (1991). Modeling the photosynthetic response of C₃ leaves to environmental factors, ed. American Society of Agronomy and Crop Science Societe of America, vol. 19. Madison, USA, CSSA Special Publication, pp. 17-39.

Hepner, Y., et al. (1985). Effect of drip irrigation schedules on growth, yield, must composition and wine quality of Cabernet Sauvignon. *American Journal of Enology and Viticulture* 36: 77-85.

Huglin, P. (1978). Nouveau mode d'évaluation des possibilités heliothermiques d'un milieu viticole. *C. R. Acad. Agric.*, no.1117-1126.

Iacono, F. y K. J. Somer (1996). Photoinhibition of photosynthesis and photorespiration in *Vitis vinifera* under field conditions: Effects of light climate and leaf position. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 2: 10-20.

Iacono, F. y K. J. Somer (2000). Response of electron transport rate of water stress-affected grapevines: influence of leaf age. *Vitis* 39(4): 137-144.

Kasimatis, A. N. (1967). Grapes, ed. R. M. Hogan, H. R. Haise, and T. W. Edminster, vol. 11. Madison, Wisconsin, Am. Soc. Agron., pp. 719-739.

Kramer, P. J. (1983). *Water relations of plants*. New York: Academic Press, Inc.

Kramer, P.J. y J. S. Boyer (1995). *Water relations of plants and soils*. San Diego, California: Academic Press, Inc.

Lakso, A. N. (1985). The effects of water stress on physiological processes in fruit crop. *Acta Horticulturae* 171: 275-289.

Lissarrague, J.R. (1986). Estudio de los efectos del riego en la producción, desarrollo vegetativo, calidad del mosto y nutrición mineral de la vid. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

Lissarrague, J.R. (1997). Consecuencias del estrés hídrico y del riego en el viñedo. *Agricultura*, 785: 943-950.

Loomis, R. S. (1983). Crop manipulation for efficient use of water: An overview, ed. H. M. Taylor, W. R. Jordan, and T. R. Sinclair. Madison, WI, Am. Soc. Agron., pp. 345-364.

Lösch, R., et al. (1982). Diurnal courses of stomatal resistance and transpiration of wild and cultivated Mediterranean perennials at the end of the summer dry season in Portugal. *Flora* 172: 138-160.

Lösch, R. y D. Schulze (1995). Internal coordination of plant responses to drought and evaporational demand, ed. E.-D. Schulze, and M. M. Caldwell, Springer Study Edition. Germany, Springer-Verlag, pp. 185-204.

Matthews, M. A. y M. M. Anderson (1989). Reproductive development in grape (*Vitis vinifera* L.): Responses to seasonal water deficits. *American Journal of Enology and Viticulture* 40: 52-59.

McCarthy, M. G., L. D. Jones y G. Due (1992). Irrigation - Principles and practices, ed. B. G. Coombe, and P. R. Dry, vol. 2, Practices. Adelaide, Winetitles, pp. 104-128.

McCarthy, M. G. (1997). Effect of timing of water deficit on fruit development and composition of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. Tesis Doctoral, Universidad de Adelaida (Australia).

McCarthy, M. G. (1998). Irrigation management to improve winegrape quality - nearly 10 years on. *The Australian Grapegrower and Winemaker Annual Technical Issue*: 65-71.

Mériaux, S., H. Rollin y P. Rutten (1981). Effets de la sécheresse sur la vigne (*Vitis vinifera* L.) II. Études "Grenache". *Agronomie* 1: 375-382.

Moreshet, S., Y. Cohen y M. Fuchs (1983). Response of mature "Shamouti" orange trees to irrigation of different soil volumes and similar levels of available water. *Irrigation Science* 3: 223-236.

Morlat, R., et al. (1992). Influence des terroirs sur le fonctionnement hydrique et la photosynthese de la vigne en millésime exceptionnellement sec (1990). Conséquence sur la maturation du raisin. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 26 (4): 197-220.

Mullins, M. G., A. Bouquet y L. E. Williams (1992). *Biology of the grapevine*. Biology of horticultural crops. Ed.: M. G. Mullins. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 239.

Myburgh, P. A. Response of *Vitis vinifera* L. cv. Barlinka/Ramsey to soil water depletion levels with particular reference to trunk growth parameters (1996). *South African Journal for Enology and Viticulture* 17 (1): 3-14.

Myers, B. J. (1988). Water stress integral -a link between short-term stress and long-term growth. *Tree Physiology* 4: 315-323.

Naor, A., B. Bravdo y Y. Hepner (1993). Effect of post-veraison irrigation level on Sauvignon blanc yield, juice quality and water relations. *South African Journal for Enology and Viticulture* 14: 19-25.

Nobel, P. S. (1991). Physicochemical and environmental plant physiology. New York: Academic Press.

Osmond, C. B., O. Björkman y D. J. Anderson (1980). *Physiological processes in plant ecology*. Berlin and New York: Springer-Verlag.

Ough, C. S. y M. A. Amerine (1988). *Methods for analysis of musts and wines*. New York: John Wiley and Sons.

Parchomchuk, P., C. S. Tan y R. G. Berard (1997). Practical use of time domain reflectometry for monitoring soil water content in microirrigated orchards. *HortTechnology* 7 (1): 17-22.

Peláez Rivera, H. (1999). Balance de radiación fotosintéticamente activa, microclima luminoso y evaluación fisiológica y agronómica de distintos sistemas de conducción en diferentes regímenes hídricos en el cultivo de la vid (*Vitis vinifera* L.). Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

Pereira, J. S., et al. (1986). Seasonal and diurnal patterns in leaf gas exchange of *Eucalyptus globulus* trees growing in Portugal. *Can. J. For. Res.* 16: 177-184.

Pereira, J. S. y M.M. Chaves (1993). Plant water deficits in Mediterranean ecosystems, ed. J. A. C. Smith, and H. Griffiths. Oxford, BIOS Scientific Publishers Limited, pp. 237-251.

Persson, M. y R. Berndtsson (1998). Texture and electrical conductivity effects on temperature dependency in time domain reflectometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 887-893.

Pitts, D. J., M. L. Bianchi y K. S. Peterson (1995). Irrigation scheduling of wine grapes under conditions of limited canopy. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 108: 329-333.

Poni, S., et al. (1992). Influence of root pruning and water stress on growth and physiological factors of potted apple, grape, peach and pear trees. *Scientia Horticulturae* 52: 223-236.

Poni, S., et al. (1994). Interactions of crop level and late season water stress on growth and physiology of field-grown Concord grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture* 45: 252-258.

Prior, L. D. y A. M. Grieve (1987). Water use and irrigation requirements of grapevines, ed. T. H. Lee. Adelaide, S. A., Australian Industrial Publishers, pp. 165-168.

Pudney, S., A. Brown y T. Proffitt (2000). Soil moisture sensing - a demonstration site in the Barossa Valley. *The Australian Grapegrower and Winemaker*. Annual Technical Issue: 92-95.

Richards, S. J. (1965). Soil suction measurement with tensiometers, Soil Science Soc. Americ.

Richards, D. (1983). The grape root system. *Horticultural Review* 5: 127-168.

Riou, C. (1998). Facteurs explicatifs des critères de qualité de la récolte. *Progrès Agricole et Viticole* 15 (11): 247-252.

Riou, C. y E. Lebon (2000). Application d'un modèle de bilan hydrique et de la mesure de la température de couvert au diagnostic du stress hydrique de la vigne à la parcelle. *Bulletin de l'O.I.V.* 73 (837-838): 755-764.

Ritchie, J. T. y B. S. Johnson (1990). Soil and plant factors affecting evaporation, ed. B. A. Stewart, and D. R. Nielsen, vol. 30. Madison (Wisconsin), American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Inc., pp. 363-390.

Rundel, P. W. y W. M. Jarrel (1989). Water in the environment, ed. R. W. Pearcy, et al. London, Chapman & Hall, pp. 29-55.

Saayman, D. y J. J. N. Lambrechts (1995). The effect of irrigation system and crop load on the vigour of Barlinka table grapes on a sandy soil, Hex River Valley. *South African Journal for Enology and Viticulture* 16 (2): 26-34.

Safran, B., B. Bravdo y B. Z. (1975). L'irrigation de la vigne par goutte à goutte. *Bulletin de l'O.I.V.* 531: 405-429.

Sánchez-Díaz, M. y J. Aguirreola (1996). Relaciones hídricas, ed. J. Azcon-Bieto y M. Talon. Madrid, McGRAW-HILL-INTERAMERICANA DE ESPAÑA, pp. 49-90.

Schneider, C. (1992). Quelles techniques de conduite adopter pour favoriser la qualité et maîtriser la production. Burdeos, Sitevinitech, pp. 265-276.

Scholander, P. F., et al. (1965). Sap pressure in vascular plants. *Science* 148: 339-346.

Schultz, H. R. (1996). Water relations and photosynthetic responses of two grapevine cultivars of different geographical origin during water stress. *Acta Horticulturae* 427: 251-261.

Scienza, A. (1983). Adattamento genetico della vite allo stress idrico. *Vignevini* 10: 27-39.

Seguin, M. G. (1972). Repartition dans le space du systeme racinaire de la vigne. *Comp. Rendus Acad. Sci. Paris*: 2178-2180.

Shackel, K. A., et al. (1997). Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *HortTechnology* 7 (1): 23-29.

Smart, R. E. (1973). Sunlight interception by vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture* 24: 141-147.

Smart, R. E. (1974). Photosynthesis by grapevine canopies. *J. Appl. Ecol.* 11: 997-1006.

Smart, R. E., C. R. Turkington y J. C. Evans (1974). Grapevine response to furrow and trickle irrigation. *American Journal of Enology and Viticulture* 25 (2): 62-66.

Smart, R. y B. Coombe (1983). Water relations of grapevines, ed. T. T. Kozłowski, vol. 7. New Yourk, Academic Press, pp. 137-196.

Smart, R. E., et al. (1985). Canopy microclimate modification for the cultivar Shiraz. I. Definition of canopy microclimate. *Vitis* 24: 17-31.

Smart, R. y M. Robinson (1991). Sunlight into wine: a handbook for winegrape canopy management. Adelaida: Winetitles, pp. 69.

Smart, R. E. (1995). Smart Thinking, on viticulture: Two golden rules of viticulture. *Australian and New Zealand Wine Industry Journal* 10: 38-39.

Snyder, R.L., W.O. Pruitt y D.A. Shaw. Determining daily reference evapotranspiration (ET_o). UC Leaflet 21 428. University of California, Davis.

Sommer, K. J. y P. R. Clingeleffer (1996). Vine canopy development and carbohydrate partitioning as influenced by pruning, ed. C. S. Stockley, et al. Winetitles, Adelaide, pp. 123-127.

Stevens, R. M. y G. Harvey (1996). Soil water depletion rates under large grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 2: 155-162.

Tardieu, F. y W. J. Davies (1993). Integration of hydraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and water status of droughted plants. *Plant, Cell and Environment* 16: 341-349.

Tassie, E. y B. M. Freeman (1992). Pruning (Chapter 4), ed. B. G. Coombe, and P. R. Dry, vol. 2, Practices. Adelaide, Winetitles, pp. 66-84.

Trambouze, W. y M. Voltz (1996). Caractérisation des relations hydriques sol/vigne dans un terroir languedocien. Angers-France, INRA.

USDA (1998). *Keys to soil taxonomy*. Washington, D.C.: USDA.

Vallone, R., et al. (1997). Aplicación del índice de transpiración relativa para determinar la oportunidad del riego en la vid. Argentina.

Van den Honert, T. H. (1948). Water transport in plants as a catenary process. *Discussions of the Faraday Society* 3: 146-153.

Van Rooyen, F. C., H. W. Weber y I. Levin (1980). The response of grapes to a manipulation of the soil-plant atmosphere continuum. II. Plant-water relationships. *Agrochemophysics* 12: 69-74.

Van Zyl, J. L. y H. W. Weber (1981). The effect of various supplementary irrigation treatments on plant and soil moisture relationships in vineyard (*Vitis vinifera* var. Chenin Blanc). *South African Journal for Enology and Viticulture* 2: 83-99.

Van Zyl, J. L. (1987). Diurnal variation in grapevine water stress as a function of changing soil water status and meteorological conditions. *South African Journal for Enology and Viticulture* 8 (2): 45-52.

Van Zyl, J. L. y L. Van Huyssteen (1988). Sistemas de irrigación. Su papel en los requerimientos de agua y el comportamiento de las viñas. *South African Journal for Enology and Viticulture* 9 (2) 3-8.

Vaysse, P., P. Soing y P. Peyremorte (1990). *L'irrigation des arbres fruitiers*. Montpellier: Ctifl, pp. 251

Veihmeyer, F. J. y A. H. Hendrickson (1955). Does transpiration decrease as soil moisture decreases. *Trans. Amer. Geophys. Un.* 36: 425-8.

Williams, D. W., et al. (1985). Validation of a model for the growth and development of the Thompson Seedless grapevine. I. Vegetative growth and fruit yield. *American Journal of Enology and Viticulture* 36: 275-282.

Williams, L. E. y D. W. Grimes (1987). Modelling vine growth-development of a data set for a water balance subroutine, ed. T. Lee., Winetitles, Adelaide, South Australia, pp. 169-174.

Williams, L. E. y M. A. Matthews (1990). Grapevine, ed. B. A. Stewart, and D. R. Nielsen, vol. 30. Madison, Wisconsin, pp. 1019-1055.

Williams, L. E., N. K. Dokoozlian y R. Wample (1994). Grape, ed. B. Schaffer, and P. C. Anderson, vol. 1, Temperate crops. Boca Raton, Florida, CRC Press, pp. 85-133.

Williams, L. E. (1996). Effects of soil water content and environmental conditions on vine water status and gas exchange of *Vitis vinifera* L. cv. Chardonnay, ed. INRA. Les terroirs viticoles, INRA.

Williams, L. E. Using crop coefficients to schedule vineyards irrigations in the San Joaquin valley - Practical applications and new developments.

Williams, L. E., et al. Water use of grapevines measured by weighing lysimetry: effect of trellis type. California Raisin Advisory Board.

Yuste, J. (1995). Comportamiento fisiológico y agronómico de la vid (*Vitis vinifera* L.) en diferentes sistemas de conducción en secano y regadío. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

Zegelin, S. J., I. White y G. F. Russell (1992). A critique of the Time Domain Reflectometry technique for determining field soil-water content, vol. 30. Madison (Wisconsin), Soil Science Society of America, pp. 187-207.

Zufferey, V., et al. (1999). Bilans journaliers de photosynthèse nette chez la vigne (cv. Chasselas) avec des rangs orientés nord-sud et est-ouest. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture et Horticulture* 31 (5): 247-252.